

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 2003-209522

(43) Date of publication of application : 25.07.2003

(51) Int.Cl.

H04B 17/00  
H04B 10/08  
H04J 14/00  
H04J 14/02

(21) Application number : 2002-061230

(71) Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22) Date of filing : 06.03.2002

(72) Inventor : SHAKE IPPEI  
TAKARA HIDEHIKO

(30) Priority

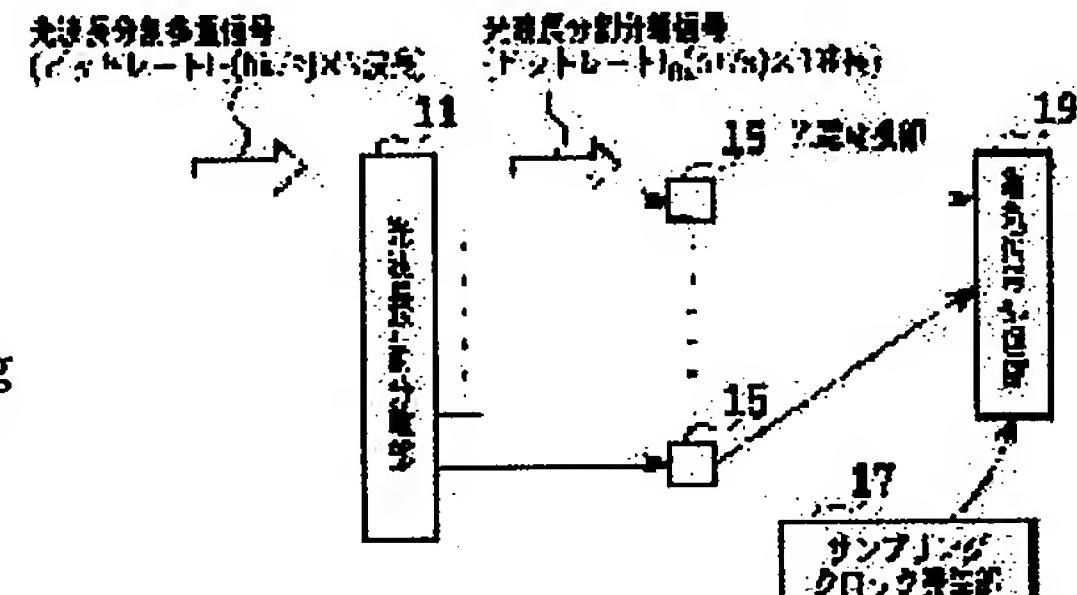
Priority number : 2001064042 Priority date : 07.03.2001 Priority country : JP  
2001342257 07.11.2001 JP

(54) OPTICAL WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEX SIGNAL MONITORING APPARATUS AND METHOD, OPTICAL SIGNAL QUALITY MONITORING APPARATUS AND OPTICAL SIGNAL WAVEFORM MEASURING APPARATUS

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To miniaturize an apparatus for monitoring optical signal quality degradation of an optical wavelength division multiplexed signal.

**SOLUTION:** An electric signal processing for evaluating an optical signal quality parameter on the basis of an optical signal intensity distribution is turned into one system and a plurality of wavelength channels are processed altogether. To monitor the optical signal quality degradation in the optical wavelength division multiplexed signal by a simple configuration, the following configurations are used: A configuration using an optical wavelength division demultiplexer 11 and a sampling clock generator 17 to make the electric signal processing of an electric signal processor 19 into one; A configuration using an optical sampling pulse train generator, an optical multiplexer, a nonlinear optical medium, and the optical wavelength division demultiplexer to the electric signal processing of the electric signal processor into one; or a configuration using a selection wavelength control section, an optical wavelength selecting section, and the sampling clock generator to make one electric signal.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2003-209522  
(P2003-209522A)

(43)公開日 平成15年7月25日(2003.7.25)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>  
H 04 B 17/00  
10/08  
H 04 J 14/00  
14/02

識別記号

F I  
H 04 B 17/00  
9/00

テーマコード(参考)  
R 5 K 0 0 2  
E 5 K 0 4 2  
K

審査請求 未請求 請求項の数56 O.L (全43頁)

(21)出願番号 特願2002-61230(P2002-61230)  
(22)出願日 平成14年3月6日(2002.3.6)  
(31)優先権主張番号 特願2001-64042(P2001-64042)  
(32)優先日 平成13年3月7日(2001.3.7)  
(33)優先権主張国 日本(JP)  
(31)優先権主張番号 特願2001-342257(P2001-342257)  
(32)優先日 平成13年11月7日(2001.11.7)  
(33)優先権主張国 日本(JP)

(71)出願人 000004226  
日本電信電話株式会社  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号  
(72)発明者 社家一平  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
(72)発明者 高良秀彦  
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内  
(74)代理人 100077481  
弁理士 谷義一(外1名)

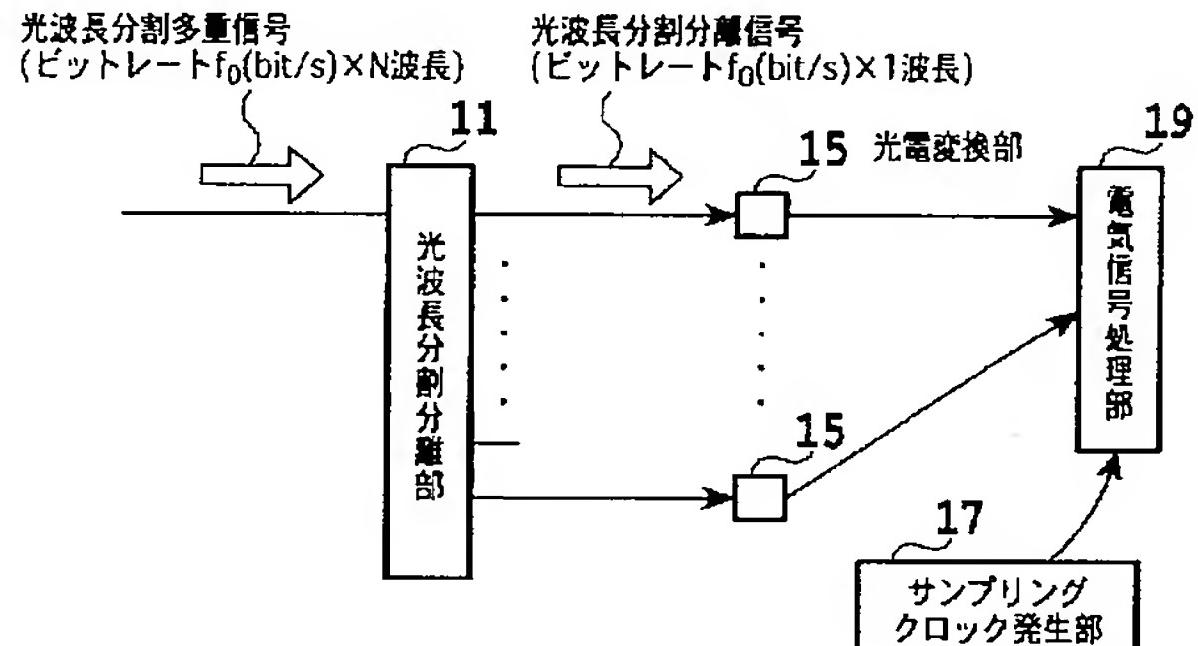
最終頁に続く

(54)【発明の名称】光波長分割多重信号監視装置および方法、並びに光信号品質監視装置および光信号波形測定装置

(57)【要約】

【課題】光波長分割多重信号の光信号品質劣化監視を行う装置の小型化を実現する。

【解決手段】光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する電気信号処理を1系統にして、複数の波長チャネルを一括で処理する。光波長分割多重信号の光信号品質劣化を監視する場合でも、装置構成をできるだけ簡易にするために、光波長分割分離部11とサンプリングクロック発生部17を用いて電気信号処理装置19の電気信号処理を1つにする構成や、サンプリング光パルス列発生部、光合波部、非線形光学媒質、光波長分割分離部を用いて電気信号処理装置の電気信号処理を1つにする構成や、あるいは選択波長制御部、光波長選択部、サンプリングクロック発生部を用いて電気信号を1つにする構成にしている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する光波長分割分離工程と、前記光波長分割分離工程で分割分離されたNチャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する光電変換工程と、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生工程と、前記光電変換工程で出力される前記Nチャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生工程で発生する前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する電気信号処理工程とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視方法。

【請求項2】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する光波長分割分離工程と、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, m自然数、aはオフセット周波数) のパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生工程と、前記サンプリング光パルス列発生工程で発生した前記サンプリング光パルス列をN系列に分波するサンプリング光パルス列分波工程と、前記光波長分割分離工程で分離されたNチャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列分波工程で分波されたN系列のサンプリング光パルス列を合波する光合波工程と、前記光合波工程で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起するN個の非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する相互相關光信号を前記光波長分割多重信号や前記サンプリング光パルス列から分波する光分波工程と、前記光分波工程で分波された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換する光電変換工程と、前記光電変換工程で変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に該Nチャネルのそれについて光信号品質パラメータを評価する電気信号処理工程とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視方法。

【請求項3】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット

周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生工程と、

ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列発生工程で発生した前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波工程と、前記光合波工程で合波された前記光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する前記相互相關光信号をNチャネルに波長分割分離する光波長分割分離工程と、前記光波長分割分離工程で分割分離された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光してNチャネルの電気強度変調信号に変換する光電変換工程と、前記光電変換工程で変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルのそれについて光信号品質パラメータを評価する電気信号処理工程とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視方法。

【請求項4】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択工程と、

前記光波長選択工程で選択される波長を制御する選択波長制御工程と、前記光波長選択工程で選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する光電変換工程と、

繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生工程と、

前記光電変換工程で出力される1チャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生工程での前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する電気信号処理工程とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視方法。

【請求項5】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択工程と、

前記光波長選択工程で選択される波長を制御する選択波長制御工程と、

繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイ

ムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生工程と、前記光波長選択工程で選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列発生工程で発生する前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波工程と、前記光合波工程で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する1個の非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する相互相關光信号を、前記光波長分割分離信号や前記サンプリング光から分波する光分波工程と、前記光分波工程で出力する前記1チャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換する光電変換工程と、前記光電変換工程で得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する電気信号処理工程とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視方法。

**【請求項6】** ビットレート  $f_0$  ( $\text{bit}/\text{s}$ ) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する光波長分割分離手段と、前記光波長分割分離手段により分割分離されたNチャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段と、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、

前記N個の光電変換手段から出力される前記Nチャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生手段により発生する前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する電気信号処理手段とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視装置。

**【請求項7】** ビットレート  $f_0$  ( $\text{bit}/\text{s}$ ) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する光波長分割分離手段と、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, m自然数、aはオフセット周波数) のパルス幅がビットレート  $f_0$  ( $\text{bit}/\text{s}$ ) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、

前記サンプリング光パルス列発生手段から発生した前記サンプリング光パルス列をN系列に分波するサンプリング光パルス列分波手段と、

前記光波長分割分離手段によって分離されたNチャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列分

波手段によって分波されたN系列のサンプリング光パルス列を合波するN個の光合波手段と、前記光合波手段で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起するN個の非線形光学媒質と、前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する相互相關光信号を前記光波長分割多重信号や前記サンプリング光パルス列から分波するN個の光分波手段と、

10 前記光分波手段により分波された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段と、前記光電変換手段で変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に該Nチャネルのそれについて光信号品質パラメータを評価する電気信号処理手段とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視装置。

**【請求項8】** 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  ( $\text{bit}/\text{s}$ ) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、ビットレート  $f_0$  ( $\text{bit}/\text{s}$ ) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列発生手段で発生した前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、前記光合波手段で合波された前記光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する非線形光学媒質と、

前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する前記相互相關光信号をNチャネルに波長分割分離する光波長分割分離手段と、前記光波長分割分離手段により分割分離された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光してNチャネルの電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段と、前記光電変換手段により変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルのそれについて光信号品質パラメータを評価する電気信号処理手段とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視装置。

**【請求項9】** ビットレート  $f_0$  ( $\text{bit}/\text{s}$ ) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段と、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段と、

繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、

前記光電変換手段から出力される1チャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生手段の前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する電気信号処理手段とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視装置。

【請求項10】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、

前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段と、

繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、

前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列発生手段から発生する前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、

前記光合波手段で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する1個の非線形光学媒質と、

前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する相互関光信号を、前記光波長分割分離信号や前記サンプリング光から分波する1個の光分波手段と、

前記光分波手段から出力する前記1チャネルの相互関光信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段と、

前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する電気信号処理手段とを有することを特徴とする光波長分割多重信号監視装置。

【請求項11】 前記電気信号処理手段は、光信号受信端局に配置されて、

ある光ノードの光信号送信端局と他の光ノードの光信号受信端局間の光信号経路を伝送した光信号の信号対雑音比係数を測定する信号対雑音比係数測定部と、

システム導入時にあらかじめ障害がない状態に前記信号対雑音比係数測定部で測定した信号対雑音比係数を記憶する初期状態記憶部と、

システム運用時において一定の時間間隔で前記信号対雑

音比係数測定部で測定して得られる信号対雑音比係数の値を導入時に前記初期状態記憶部に記憶した信号対雑音比係数の値と比較する光信号品質評価部とを有し、光信号変調形式・フォーマット・ビットレートに無依存なアナログ監視をすることを特徴とする請求項6ないし10のいずれかに記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項12】 前記信号対雑音比係数測定部は、クロック周波数  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (N/M)f_0 + a$ , N, Mは正数、aはオフセット周波数) で前記電気強度変調信号の強度をサンプリングすることによって、光信号の強度分布を測定する光信号強度分布測定手段と、

ある平均時間内の前記光信号強度分布から得られる振幅ヒストグラムを用いて信号対雑音比係数を評価する信号対雑音比係数評価手段とを有することを特徴とする請求項11に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項13】 前記信号対雑音比係数評価手段は、ある平均時間内の前記光信号の強度分布から振幅ヒストグラムを求めるヒストグラム評価手段と、20 あらかじめ定めた強度しきい値 (A) よりも高い前記振幅ヒストグラム部分から「レベル1」に相当する振幅ヒストグラム分布関数  $g_1$  を推定し、別途定めた強度しきい値 (B) よりも低い前記振幅ヒストグラム部分から「レベル0」に相当する振幅ヒストグラム分布関数  $g_0$  を推定する分布関数評価手段と、

「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの平均値強度と標準偏差値を前記振幅ヒストグラム分布関数  $g_1$  及び  $g_0$  からそれぞれ求め、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの平均値強度の差と、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの標準偏差値の和の比として得られる信号対雑音比係数を評価する光信号品質評価手段とを具備することを特徴とする請求項12に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項14】 前記分布関数評価手段は、被測定光信号の強度分布から得られる前記振幅ヒストグラムから2つの極大値を求め、振幅強度の高い方を前記強度しきい値 (A) とし、低い方を前記強度しきい値 (B) とすることを特徴とする請求項13に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項15】 「レベル1」と「レベル0」の2値のデジタル信号であってビットレートが  $f_0$  (bit/s) の光信号をサンプリングして光信号強度分布を求め、該光信号強度分布に基づいて光信号品質を監視する光信号品質監視装置であって、

繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロック信号を発生するサンプリングクロック発生手段と、

信号光を受光する電界吸収型変調手段と、前記サンプリングクロック発生手段からのサンプリングクロック信号

7  
を受信する電気コムジェネレータとを備え、繰り返し周波数  $f_1$  (Hz) のタイムスロット ( $= 1/f_0$ ) 以下のゲート幅で前記信号光をサンプリングする光ゲート手段と、

該光ゲート手段から出力されたサンプリング光信号を受光してサンプリング電気信号に変換する光電変換手段と、

該光電変換手段により得られたサンプリング電気信号を前記光ゲート手段のサンプリングに同期して記憶し、該サンプリング電気信号を基に光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に「レベル1」と「レベル0」それぞれのある平均時間内での平均値レベル及び標準偏差値を求め、前記光信号の品質を検査する電気信号処理手段とを備えることを特徴とする光信号品質監視装置。

【請求項16】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号をサンプリングして光信号の波形を測定する光信号波形測定装置であって、

光信号のビットレートに同期する周波数の外部クロック信号を受信して、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロック信号を発生するサンプリングクロック発生手段と、

信号光を受光する電界吸収型変調手段と、前記サンプリングクロック発生手段からのサンプリングクロック信号を受信する電気コムジェネレータとを備え、繰り返し周波数  $f_1$  (Hz) のタイムスロット ( $= 1/f_0$ ) 以下のゲート幅で信号光をサンプリングする光ゲート手段と、

該光ゲート手段から出力されたサンプリング光信号を受光してサンプリング電気信号に変換する光電変換手段と、

該光電変換手段により得られたサンプリング電気信号を前記光ゲート手段のサンプリングに同期して記憶し、該サンプリング電気信号を基に光信号の波形を求める電気信号処理手段と、

該電気信号処理手段により求めた光信号の波形を表示する表示手段とを備えることを特徴とする光信号波形測定装置。

【請求項17】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する光波長分割分離手段と、

前記光波長分割分離手段により分割分離された光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1またはN個の光電変換手段と、

前記光電変換手段で変換された前記電気強度変調信号を基に光信号品質評価を行う電気信号処理手段とを有する光波長分割多重信号監視装置であって、

前記電気信号処理手段が1系統であることを特徴とする光波長分割多重信号監視装置。

10 【請求項18】 前記電気信号処理手段への入力がN系統あって、該電気信号処理手段はN個の前記光電変換手段から入力するNチャネルの電気信号をN系統のバッファでそれぞれ一定時間記憶し、それらを順次読み出して処理することを特徴とする請求項17に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項19】 前記電気信号処理手段への入力がN系統あって、該電気信号処理手段はN個の前記光電変換手段から入力するNチャネルのアナログ電気信号の接続を順次切り替えることにより該アナログ電気信号を順次読み出して処理することを特徴とする請求項17に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項20】 前記電気信号処理手段に至るまでに波長分割分離において波長選択を行う波長選択手段を用いることにより該電気信号処理手段への入力が1系統にでき、該電気信号処理手段は1個の前記光電変換手段から入力する電気信号を1系統のバッファで一定時間記憶し、読み出して処理することを特徴とする請求項17に記載の光波長分割多重信号監視装置。

20 【請求項21】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段を更に有し、

前記電気信号処理手段は、前記N個の光電変換手段から出力される前記Nチャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生手段により発生する前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルそれぞれについて光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項18に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項22】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, m自然数、aはオフセット周波数) のパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、

前記サンプリング光パルス列発生手段から発生した前記サンプリング光パルス列をN系列に分波するサンプリング光パルス列分波手段と、

前記光波長分割分離手段によって分離されたNチャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列分波手段によって分波されたN系列のサンプリング光パルス列を合波するN個の光合波手段と、

前記光合波手段で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起するN個の非線形光学媒質と、

前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する相互関光信号を前記光波長分割多重信号や前記サンプリング光パルス列から分波するN個の光分波

手段とを更に有し、

前記光電変換手段は、前記光分波手段により分波された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段であり、  
前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段で変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に該Nチャネルのそれぞれについて光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項18に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項23】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、各チャネルごとに備えられ、前記光波長分割分離手段で分割分離されたNチャネルのビットレート  $f_0$  (bit/s) の光波長分割分離信号の強度を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングするN個の光ゲート手段とを更に有し、

N個の前記光電変換手段は、各チャネルごとの前記光ゲート手段でサンプリングされた光信号を受光して電気強度変調信号に変換することを特徴とする請求項18に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項24】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、前記光波長分割多重信号を光波長分割分離する前にNチャネル一括して前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングする1個の光ゲート手段とを更に有し、

前記光ゲート手段により得られた光ゲート信号に対して前記光波長分割分離手段を用いて光波長分割を行うことを特徴とする請求項18に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項25】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、

ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列発生手段で発生した前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、前記光合波手段で合波された前記光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する非線形光学媒質とを更に有し、

前記光波長分割分離手段は、前記非線形光学媒質における

非線形相互作用の結果により発生する前記相互相關光信号をNチャネルに波長分割分離し、

前記光電変換手段は、前記光波長分割分離手段により分割分離された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光してNチャネルの電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段であり、

前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段により変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルのそれぞれについて光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項18に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項26】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、

前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段と、

繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段とを更に有し、

前記光電変換手段は、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、

前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から出力される1チャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項20に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項27】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、

前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段と、

繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、

前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号の強度を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングする1個の光ゲート手段とを更に有し、

前記光電変換手段は、前記光ゲート手段から出力する1チャネルの光ゲート信号を受光して電気強度変調信号に

変換する1個の光電変換手段であり、前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項20に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項28】 ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、

前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段と、

繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、

前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列発生手段から発生する前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、

前記光合波手段で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する1個の非線形光学媒質と、

前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する相互相關光信号を、前記光波長分割分離信号や前記サンプリング光から分波する1個の光分波手段とを更に有し、

前記光電変換手段は、前記光分波手段から出力する前記1チャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、

前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項20に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項29】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、

ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号の強度を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングする1個の光ゲート手段と、

前記光ゲート手段から出力する1チャネルの光ゲート信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、

前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段とを更に有し、

前記光電変換手段は、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、

前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項20に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項30】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、

ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列発生手段から発生する前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、

前記光合波手段で合波された前記光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する1個の非線形光学媒質と、

前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生するNチャネルの相互相關光信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、

前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段とを更に有し、

前記光電変換手段は、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、

前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項20に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項31】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段とを更に有し、

前記電気信号処理手段は、前記N個の光電変換手段から出力される前記Nチャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生手段により発生する前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルそれぞれについて光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項19に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項32】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1$

$= (n/m) f_0 + a : n, m$ 自然数、 $a$ はオフセット周波数) のパルス幅がビットレート  $f_0$  ( $b_i t/s$ ) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、

前記サンプリング光パルス列発生手段から発生した前記サンプリング光パルス列をN系列に分波するサンプリング光パルス列分波手段と、

前記光波長分割分離手段によって分離されたNチャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列分波手段によって分波されたN系列のサンプリング光パルス列を合波するN個の光合波手段と、

前記光合波手段で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起するN個の非線形光学媒質と、

前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する相互相關光信号を前記光波長分割多重信号や前記サンプリング光パルス列から分波するN個の光分波手段とを更に有し、

前記光電変換手段は、前記光分波手段により分波された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段であり、

前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段で変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に該Nチャネルのそれぞれについて光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項19に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項33】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m) f_0 + a : n, m$ は自然数、 $a$ はオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、

各チャネルごとに備えられ、前記光波長分割分離手段で分割分離されたNチャネルのビットレート  $f_0$  ( $b_i t/s$ ) の光波長分割分離信号の強度を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングするN個の光ゲート手段とを更に有し、

N個の前記光電変換手段は、各チャネルごとの前記光ゲート手段でサンプリングされた光信号を受光して電気強度変調信号に変換することを特徴とする請求項19に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項34】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m) f_0 + a : n, m$ は自然数、 $a$ はオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、

前記光波長分割多重信号を光波長分割分離する前にNチャネル一括して前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングする1個の光ゲート手段とを更に有し、

前記光ゲート手段により得られた光ゲート信号に対して前記光波長分割分離手段を用いて光波長分割を行うことを特徴とする請求項19に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項35】 繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m) f_0 + a : n, m$ は自然数、 $a$ はオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  ( $b_i t/s$ ) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、

ビットレート  $f_0$  ( $b_i t/s$ ) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列発生手段で発生した前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、

前記光合波手段で合波された前記光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する非線形光学媒質とを更に有し、

前記光波長分割分離手段は、前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する前記相互相關光信号をNチャネルに波長分割分離し、

前記光電変換手段は、前記光波長分割分離手段により分割分離された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光してNチャネルの電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段であり、

前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段により変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルのそれぞれについて光信号品質パラメータを評価することを特徴とする請求項19に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項36】 前記光波長分割多重信号の全チャネルの偏波状態を一括して制御して、前記サンプリング光パルス列発生手段から出力される前記サンプリング光パルス列の偏波状態、または前記サンプリングクロック発生手段から出力される前記サンプリングクロックの偏波状態に対して一定の偏波関係を持たせる偏波制御手段を更に有することを特徴とする請求項22に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項37】 前記光波長分割多重信号の全チャネルの偏波状態を一括して制御して、前記サンプリング光パルス列発生手段から出力される前記サンプリング光パルス列の偏波状態、または前記サンプリングクロック発生手段から出力される前記サンプリングクロックの偏波状態に対して一定の偏波関係を持たせる偏波制御手段を更に有することを特徴とする請求項23に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項38】 前記光波長分割多重信号の全チャネルの偏波状態を一括して制御して、前記サンプリング光パルス列発生手段から出力される前記サンプリング光パルス列の偏波状態、または前記サンプリングクロック発生



重信号監視装置。

【請求項53】 前記光波長分割多重信号の波長分散を制御して、該光波長分割多重信号の全チャネルの波長分散を一括して補償する光信号波長分散制御手段を更に有することを特徴とする請求項35に記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項54】 前記電気信号処理手段は、光信号受信端局に配置されて、ある光ノードの光信号送信端局と他の光ノードの光信号受信端局間の光信号経路を伝送した光信号の信号対雑音比係数を測定する信号対雑音比係数測定部と、システム導入時にあらかじめ障害がない状態に前記信号対雑音比係数測定部で測定した信号対雑音比係数を記憶する初期状態記憶部と、システム運用時において一定の時間間隔で前記信号対雑音比係数測定部で測定して得られる信号対雑音比係数の値を導入時に前記初期状態記憶部に記憶した信号対雑音比係数の値と比較する光信号品質評価部とを有し、光信号変調形式・フォーマット・ビットレートに無依存なアナログ監視することを特徴とする請求項21ないし53のいずれか1つに記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項55】 前記電気信号処理手段は、光信号受信端局に配置されて、ある光ノードの光信号送信端局と他の光ノードの光信号受信端局間の光信号経路を伝送した光信号の信号対雑音比係数を測定する信号対雑音比係数測定部と、システム導入時にあらかじめ障害がない状態に前記信号対雑音比係数測定部で測定した信号対雑音比係数を記憶する初期状態記憶部と、システム運用時において一定の時間間隔で前記信号対雑音比係数測定部で測定して得られる信号対雑音比係数の値を導入時に前記初期状態記憶部に記憶した信号対雑音比係数の値と比較する光信号品質評価部とを有し、前記信号対雑音比係数測定部は、

クロック周波数  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (N/M) f_0 + a$ , N, Mは正数, aはオフセット周波数) で前記電気強度変調信号の強度をサンプリングすることによって、光信号の強度分布を測定する光信号強度分布測定手段と、ある平均時間内の前記光信号強度分布から得られる振幅ヒストグラムを用いて信号対雑音比係数を評価する信号対雑音比係数評価手段とを有し、前記信号対雑音比係数評価手段は、ある平均時間内の前記光信号の強度分布から振幅ヒストグラムを求めるヒストグラム評価手段と、あらかじめ定めた強度しきい値 (A) よりも高い前記振幅ヒストグラム部分から「レベル1」に相当する振幅ヒストグラム分布関数  $g_1$  を推定し、別途定めた強度しきい値 (B) よりも低い前記振幅ヒストグラム部分から「レベル0」に相当する振幅ヒストグラム分布関数  $g_0$  を推定する分布関数評価手段と、

「レベル0」に相当する振幅ヒストグラム分布関数  $g_0$  を推定する分布関数評価手段と、

「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの平均値強度と標準偏差値を前記振幅ヒストグラム分布関数  $g_1$  及び  $g_0$  からそれぞれ求め、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの平均値強度の差と、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの標準偏差値の和の比として得られる信号対雑音比係数を評価する光信号品質評価手段とを有し、

10 光信号変調形式・フォーマット・ビットレートに無依存なアナログ監視することを特徴とする請求項21ないし53のいずれか1つに記載の光波長分割多重信号監視装置。

【請求項56】 前記電気信号処理手段は、光信号受信端局に配置されて、

ある光ノードの光信号送信端局と他の光ノードの光信号受信端局間の光信号経路を伝送した光信号の信号対雑音比係数を測定する信号対雑音比係数測定部と、システム導入時にあらかじめ障害がない状態に前記信号対雑音比係数測定部で測定した信号対雑音比係数を記憶する初期状態記憶部と、

システム運用時において一定の時間間隔で前記信号対雑音比係数測定部で測定して得られる信号対雑音比係数の値を導入時に前記初期状態記憶部に記憶した信号対雑音比係数の値と比較する光信号品質評価部とを有し、前記信号対雑音比係数測定部は、

クロック周波数  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (N/M) f_0 + a$ , N, Mは正数, aはオフセット周波数) で前記電気強度変調信号の強度をサンプリングすることによって、

30 光信号の強度分布を測定する光信号強度分布測定手段と、

ある平均時間内の前記光信号強度分布から得られる振幅ヒストグラムを用いて信号対雑音比係数を評価する信号対雑音比係数評価手段とを有し、

前記信号対雑音比係数評価手段は、

ある平均時間内の前記光信号の強度分布から振幅ヒストグラムを求めるヒストグラム評価手段と、

あらかじめ定めた強度しきい値 (A) よりも高い前記振幅ヒストグラム部分から「レベル1」に相当する振幅ヒストグラム分布関数  $g_1$  を推定し、別途定めた強度しきい値 (B) よりも低い前記振幅ヒストグラム部分から「レベル0」に相当する振幅ヒストグラム分布関数  $g_0$  を推定する分布関数評価手段と、

「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの平均値強度と標準偏差値を前記振幅ヒストグラム分布関数  $g_1$  及び  $g_0$  からそれぞれ求め、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの平均値強度の差と、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの標準偏差値の和の比として得られる信号対雑音比係数を評価する光信号品質評価手段とを有し、

前記分布関数評価手段は、被測定光信号の強度分布から得られる前記振幅ヒストグラムから2つの極大値を求め、振幅強度の高い方を前記強度しきい値(A)とし、低い方を前記強度しきい値(B)するものであって、光信号変調形式・フォーマット・ビットレートに無依存なアナログ監視をすることを特徴とする請求項21ないし53のいずれか1つに記載の光波長分割多重信号監視装置。

**【発明の詳細な説明】**

**【0001】**

**【発明の属する技術分野】**本発明は、光波長分割多重信号監視装置および方法、並びに光信号品質監視装置および光信号波形測定装置に関する。

**【0002】**

**【従来の技術】**波長分割多重(WDM; Wavelength Division Multiplexing)は、一本の光ファイバ中に、異なるキャリア光波長を有する複数の光信号チャネル(以下、WDMチャネルと称する)を多重して伝送するものであり、伝送容量拡大に有用な技術である。従来、このWDM技術において信号のモニタ装置(監視装置と同義である。)の代表的なものには次のものがある。すなわち、

従来の第1例: WDMチャネルごとに、Synchronous Optical Network(SONET)/Synchronous Digital Hierarchy(SDH)伝送方式(参考文献〔1〕:ITU-T Recommendation G.707)において定められたオーバーヘッドを用いて、Bit Interleaved Parityと呼ばれるパリティ検査を中継器間や多重化端局相互間でそれぞれ実施して、故障区間の同定と切替起動信号を得る。

従来の第2例: 光スペクトルを観測し、光信号対雜音強度比を監視することにより、WDMチャネルごとの信号品質劣化を測定する。

**【0003】**図1に従来の第1例の波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。この従来例の信号モニタ装置は、ビットレート $f_0$ (bit/s)の光信号がN波長多重(Nは2以上の整数)された光波長分割多重信号を光波長分割分離する光波長分割分離部61と、光波長分割分離部61で分割分離されたNチャンネル(Nは2以上の複数)の光波長分割分離信号を処理するN個の電気信号処理部62を有する。各電気信号処理部62は光電変換部(受信回路)63、クロック抽出部(クロック抽出回路)64、およびパリティ検査回路または照合回路からなる誤り検出部65を含む。この従来の第1例では、WDMチャネルごとの信号ビットレートの増大や信号形式の多様化が起きると、対象とする信号のビットレートや信号形式や変調形式(NRZ(Non Return to Zero)またはRZ(Return to Zero))ごとに、それに応じた受信系(電気信号処理部62)が必要となる上、WDMチャネル数がN倍に増大するとそれらの受信系がN個ずつ必要となり、装置規模が極端に増大してしまう。

**【0004】**図2に従来の第2例の波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。この従来例の信号モニタ装置は、光波長分割分離信号の光スペクトルを観測し、光信号対雜音強度比を監視することにより、WDMチャネルごとの信号品質劣化を測定するための光スペクトラムアナライザ62-1を有する。この従来の第2例では、光の信号対雜音強度比が解るだけで、光ファイバ中の波長分散による波形劣化や偏波分散による波形劣化などによる伝送劣化を検出できない、ビット誤り率を直接反映しないという問題がある。

**【0005】**図3は、従来の第3例の波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。この従来例の信号モニタ装置は、1波長の光波長分割分離信号を電気強度変調信号に変換する光電変換部63、繰り返し周波数が $f_1(Hz)$ ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$ : n, mは自然数、aはオフセット周波数)のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生部66、および電気信号処理部67を有する。電気信号処理部67は、光電変換部63から出力される電気強度変調信号を、サンプリングクロック発生部66から発生するサンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。

**【0006】**図4は従来の第4例の波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。この従来例の信号モニタ装置は、サンプリング光パルス列発生部68、光合波部69、非線形光学媒質70、光分波部71、光電変換部72、および電気信号処理部73を有する。サンプリング光パルス列発生部68は、繰り返し周波数が $f_1(Hz)$ ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$ : n, mは自然数、aはオフセット周波数)でパルス幅がビットレート $f_0(bit/s)$ の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生する。光合波部69は、1波長の光波長分割分離信号とサンプリング光パルス列発生部68から発生するサンプリング光パルス列とを合波する。非線形光学媒質70は、光合波部69で合波された光波長分割分離信号とサンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する。光分波部71は、非線形光学媒質70における非線形相互作用の結果により発生する相互相関光信号を、上記光波長分割分離信号や上記サンプリング光から分波する。光電変換部72は、光分波部71から出力する相互相関光信号を受光して電気強度変調信号に変換する。電気信号処理部73は、光電変換部72から得られる電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。

**【0007】**図3および図4の従来例は、振幅ヒストグラムから光信号品質パラメータを評価する方法(参考文献〔2〕: EPC公開番号EP0920150A2、米国出願(未公開)出願番号09/204,001)であり、信

号ビットレートの増大、信号形式の多様化に柔軟に対応でき、光ファイバ中の波長分散による波形劣化などの光信号劣化を監視できるが、1波長の光信号にのみ適用できるものであった。

【0008】図5に従来の第5例の波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すが、これは光波長分割分離部74を用いて図3の構成をWDMチャネル数だけ並列に構成したものである。また、図6に従来の第6例の波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すが、上記第5例と同様に、これは光波長分割分離部78を用いて図4の構成をWDMチャネル数だけ並列に構成したものである。

#### 【0009】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来例の第5例および第6例は従来例の第3例および第4例の構成をWDMチャネル数だけ並列に構成したものであり、したがってWDMチャネル数がNチャネルであれば、装置規模もN倍と増大してしまうという問題がある。

【0010】一方、近年、マルチメディアサービス需要が急速に高まり、個々のサービスの通信容量を拡大する必要が生じてきた上に、映像、音声、データ等、多様な信号ビットレート・信号形式に効率的に対応するネットワークが必要となると、WDMチャネル数の増大やWDMチャネルごとの信号ビットレートの増大、信号形式の多様化が必要となるので、それに柔軟に対応できる光波長分割多重信号モニタ装置が必要となる。また、それに伴って監視すべき光信号劣化要因も多様化し、特に光ファイバ中の波長分散による波形劣化や、偏波分散による波形劣化などに対応した監視が必要となる。

【0011】そこで、光ファイバ中の波長分散による波形劣化など多様な光信号劣化要因を監視でき、WDMチャネル数の増大やWDMチャネルごとの信号ビットレートの増大、信号形式の多様化に柔軟に対応できる、光波長分割多重信号監視装置が切望されている。

【0012】本発明は、上述の点に鑑みてなされたもので、その目的は、光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する電気信号処理手段を1系統にして、複数の波長チャネルを一括で処理することにより、装置規模の小型化が得られる光波長分割多重信号監視装置を提供することにある。

【0013】また、本発明の付随する目的は、被測定対象である光波長分割多重信号のビットレート、信号形式および変調形式によらず、単一の回路で雑音劣化や波形歪みなどの光信号品質劣化を監視できる光波長分割多重信号監視装置を提供することにある。

【0014】また、本発明の付隨する目的は、従来の光信号品質監視装置および光信号波形測定装置と同等以上の時間分解能を有し、広帯域光電変換装置でのリンクによる波形歪みがなく、正確で精密な光信号の品質監視が可能で、かつ、小型化で廉価な光信号品質監視装置および光信号波形測定装置を提供することにある。

#### 【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の光波長分割多重信号監視装置は、ビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する光波長分割分離手段と、前記光波長分割分離手段により分割分離された光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1またはN個の光電変換手段と、前記光電変換手段で変換された前記電気強度変調信号を基に光信号品質評価を行う電気信号処理手段とを有する光波長分割多重信号監視装置であって、前記電気信号処理手段が1系統である。

【0016】ここで、好ましくは、前記電気信号処理手段への入力がN系統あって、該電気信号処理手段はN個の前記光電変換手段から入力するNチャネルの電気信号をN系統のバッファでそれぞれ一定時間記憶し、それらを順次読み出して処理することを特徴とする。

【0017】また、好ましくは、前記電気信号処理手段への入力がN系統あって、該電気信号処理手段はN個の前記光電変換手段から入力するNチャネルのアナログ電気信号の接続を順次切り替えることにより該アナログ電気信号を順次読み出して処理する。

【0018】また、好ましくは、前記電気信号処理手段に至るまでに波長分割分離において波長選択を行う波長選択手段を用いることにより該電気信号処理手段への入力が1系統にでき、該電気信号処理手段は1個の前記光電変換手段から入力する電気信号を1系統のバッファで一定時間記憶し、読み出して処理する。

【0019】また、好ましくは、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m) f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段を更に有し、前記電気信号処理手段は、前記N個の光電変換手段から出力される前記Nチャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生手段により発生する前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する。

【0020】また、好ましくは、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m) f_0 + a$  : n, m自然数、aはオフセット周波数) のパルス幅がビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、前記サンプリング光パルス列発生手段から発生した前記サンプリング光パルス列をN系列に分波するサンプリング光パルス列分波手段と、前記光波長分割分離手段によって分離されたNチャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列分波手段によって分波されたN系列のサンプリング光パルス列を合

波するN個の光合波手段と、前記光合波手段で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起するN個の非線形光学媒質と、前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する相互相關光信号を前記光波長分割多重信号や前記サンプリング光パルス列から分波するN個の光分波手段とを更に有し、前記光電変換手段は、前記光分波手段により分波された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段であり、前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段で変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルのそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する。

【0021】また、好ましくは、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)$   $f_0 + a : n$ , mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、各チャネルごとに備えられ、前記光波長分割分離手段で分割分離されたNチャネルのビットレート $f_0$  (bit/s) の光波長分割分離信号の強度を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングするN個の光ゲート手段とを更に有し、N個の前記光電変換手段は、各チャネルごとの前記光ゲート手段でサンプリングされた光信号を受光して電気強度変調信号に変換する。

【0022】また、好ましくは、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)$   $f_0 + a : n$ , mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、前記光波長分割多重信号を光波長分割分離する前にNチャネル一括して前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングする1個の光ゲート手段とを更に有し、前記光ゲート手段により得られた光ゲート信号に対して前記光波長分割分離手段を用いて光波長分割を行う。

【0023】また、好ましくは、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)$   $f_0 + a : n$ , mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、ビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列発生手段で発生した前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、前記光合波手段で合波された前記光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する非線形光学媒質とを更に有し、前記光波長分割分離手段は、前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生する前記相互相關光信号

をNチャネルに波長分割分離し、前記光電変換手段は、前記光波長分割分離手段により分割分離された前記Nチャネルの相互相關光信号を受光してNチャネルの電気強度変調信号に変換するN個の光電変換手段であり、前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段により変換された前記Nチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に前記Nチャネルのそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する。

【0024】また、好ましくは、ビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段と、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)$   $f_0 + a : n$ , mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段とを更に有し、前記光電変換手段は、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から出力される1チャネルの電気強度変調信号を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。

【0025】また、好ましくは、ビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段と、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)$   $f_0 + a : n$ , mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号の強度を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングする1個の光ゲート手段とを更に有し、前記光電変換手段は、前記光ゲート手段から出力する1チャネルの光ゲート信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。

【0026】また、好ましくは、ビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制

御手段と、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)$   $f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列発生手段から発生する前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、前記光合波手段で合波された前記光波長分割分離信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する1個の非線形光学媒質と、前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生するNチャネルの相互相關光信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段とを更に有し、前記光電変換手段は、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。

【0027】また、好ましくは、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)$   $f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生するサンプリングクロック発生手段と、ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号の強度を、前記サンプリングクロック発生手段から発生する前記サンプリングクロックによりサンプリングする1個の光ゲート手段と、前記光ゲート手段から出力する1チャネルの光ゲート信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段とを更に有し、前記光電変換手段は、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。

【0028】また、好ましくは、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)$   $f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生するサンプリング光パルス列発生手段と、ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列発生手段から発生する前記サンプリング光パルス列とを合波する光合波手段と、前記光合波手段で合波された前記光

波長分割多重信号と前記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する1個の非線形光学媒質と、前記非線形光学媒質における非線形相互作用の結果により発生するNチャネルの相互相關光信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する光波長選択手段と、前記光波長選択手段によって選択される波長を制御する選択波長制御手段とを更に有し、前記光電変換手段は、前記光波長選択手段によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する1個の光電変換手段であり、前記電気信号処理手段は、前記光電変換手段から得られる前記1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、該光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。

【0029】また、好ましくは、前記光波長分割多重信号の全チャネルの偏波状態を一括して制御して、前記サンプリング光パルス列発生手段から出力される前記サンプリング光パルス列の偏波状態、または前記サンプリングクロック発生手段から出力される前記サンプリングクロックの偏波状態に対して一定の偏波関係を持たせる偏波制御手段を更に有する。

【0030】また、好ましくは、前記光波長分割多重信号の波長分散を制御して、該光波長分割多重信号の全チャネルの波長分散を一括して補償する光信号波長分散制御手段を更に有する。

【0031】また、好ましくは、前記電気信号処理手段は、光信号受信端局に配置されて、ある光ノードの光信号送信端局と他の光ノードの光信号受信端局間の光信号経路を伝送した光信号の信号対雑音比係数を測定する信号対雑音比係数測定部と、システム導入時にあらかじめ障害がない状態に前記信号対雑音比係数測定部で測定した信号対雑音比係数を記憶する初期状態記憶部と、システム運用時において一定の時間間隔で前記信号対雑音比係数測定部で測定して得られる信号対雑音比係数の値を導入時に前記初期状態記憶部に記憶した信号対雑音比係数の値と比較する光信号品質評価部とを有し、光信号変調形式・フォーマット・ビットレートに無依存なアナログ監視をする。

【0032】また、好ましくは、前記信号対雑音比係数測定部は、クロック周波数  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (N/M)$   $f_0 + a$ , N, Mは正数、aはオフセット周波数) で前記電気強度変調信号の強度をサンプリングすることによって、光信号の強度分布を測定する光信号強度分布測定手段と、ある平均時間内の前記光信号強度分布から得られる振幅ヒストグラムを用いて信号対雑音比係数を評価する信号対雑音比係数評価手段とを有し、前記信号対雑音比係数評価手段は、ある平均時間内の前記光信号の強度分布から振幅ヒストグラムを求めるヒストグラム評価手段と、あらかじめ定めた強度しきい値 (A) よりも高い前記振幅ヒストグラム部分から「レベル1」に相当する振幅ヒストグラム分布関数  $g_1$  を推定し、別途定

めた強度しきい値（B）よりも低い前記振幅ヒストグラム部分から「レベル0」に相当する振幅ヒストグラム分布関数 $g_0$ を推定する分布関数評価手段と、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの平均値強度と標準偏差値を前記振幅ヒストグラム分布関数 $g_1$ 及び $g_0$ からそれぞれ求め、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの平均値強度の差と、「レベル1」と「レベル0」のそれぞれの標準偏差値の和の比として得られる信号対雜音比係数を評価する光信号品質評価手段とを有する。

【0033】また、好ましくは、前記分布関数評価手段は、被測定光信号の強度分布から得られる前記振幅ヒストグラムから2つの極大値を求め、振幅強度の高い方を前記強度しきい値（A）とし、低い方を前記強度しきい値（B）とする。

#### 【0034】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。

【0035】（第1の実施形態）図7に、本発明の第1の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。ビットレート $f_0$ （bit/s）の光信号がN波長多重（Nは1以上の整数）された光波長分割多重信号は、波長分割分離部11により波長分割分割された後、N個の光電変換部15を経てNチャネルの電気信号として、電気信号処理部19に至る。本実施形態は、後述のように、電気信号処理部19でNチャネルの電気信号をそれぞれ一定時間記憶し、それらを順次読み出して処理することにより、電気信号処理工程を1系統にした例である。

【0036】電気信号処理部19では、Nチャネルの電気信号を入力するN個の入力ポートと、N系統それぞれ個別の電圧保持部192とを備え、さらに順次読み出し部193、クロック分配部194、およびデータ処理部195を備える。この電圧保持部192は、入力された電気信号のアナログ・デジタル変換を行い、デジタル信号電圧を一時的に保持し、外部からのトリガ信号に従つてそれを出力する機能を有する。順次読み出し部193は、クロック分配部194により分配されたクロックに同期して動作し、チャネル1からNまでの電圧保持部192に対して順にトリガ信号を送出することにより電圧保持部192から順にデジタル信号電圧を読み出して、1からNチャネルのデータを時系列でデータ処理部195に送出する。データ処理部195では、Nチャネルのデジタル信号電圧から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基にNチャネルのそれについて光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献〔2〕に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0037】（第2の実施形態）図8に、本発明の第2の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。ビットレート $f_0$ （bit/s）の光信号が

N波長多重（Nは1以上の整数）された光波長分割多重信号は、波長分割分離部11により波長分割分離された後、N個の光電変換部15を経てNチャネルの電気信号として電気信号処理部19に至る。本実施形態は、後述のように、電気信号処理部19内の切替部191でNチャネルのアナログ電気信号の接続を順次切り替えることで、電気信号処理工程を1系統にした例である。

【0038】電気信号処理部19では、Nチャネルの電気信号を入力するN個の入力ポートと一つの切替部191とを備え、さらに電圧保持部192、クロック分配部194、およびデータ処理部195を備える。この切替部191は、N個の入力ポートと1個の電圧保持部192の接続をチャネル1からNまで、クロック分配部194により分配されたクロックに同期して順に切り替える機能を有する。ここで切替の時間間隔（これはあるチャネルに接続している時間にはほぼ等しい）は任意に調整できるものとする。この電圧保持部192は、入力された電気信号のアナログ・デジタル変換を行い、デジタル信号電圧を一時的に保持し、外部からのトリガ信号（クロック分配部194により分配されたクロック）に同期してそれを出力する機能を有する。データ処理部195では、Nチャネルのデジタル信号電圧から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基にNチャネルのそれについて光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献〔2〕に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0039】（第3の実施形態）図9に、本発明の第3の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。ビットレート $f_0$ （bit/s）の光信号がN波長多重（Nは1以上の整数）された光波長分割多重信号は、波長選択部42により1チャネルだけ選択された後、1個の光電変換部15を経て1チャネルの電気信号として電気信号処理部19に至る。

【0040】電気信号処理部19では、1チャネルの電気信号を入力する1個の入力ポートと電圧保持部192と、クロック分配部194と、データ処理部195とを備える。この電圧保持部192は、入力された電気信号のアナログ・デジタル変換を行い、デジタル信号電圧を一時的に保持し、外部からのトリガ信号（クロック分配部194により分配されたクロック）に同期してそれを出力する機能を有する。データ処理部195では、Nチャネルのデジタル信号電圧から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基にNチャネルのそれについて光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献〔2〕に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0041】（第4の実施形態）図10に、本発明の第4の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の

構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、光波長分割分離部11、N個の光電変換部15、サンプリングクロック発生部17、および電気信号処理部19を有する。光波長分割分離部11は、ビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する。N個の光電変換部15は、光波長分割分離部11で分割分離されたNチャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する。サンプリングクロック発生部17は、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生する。電気信号処理部19は、N個の光電変換部15から出力されるNチャネルの電気強度変調信号を、サンプリングクロック発生部17により発生するそのサンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、この光信号強度分布を基にNチャネルそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する。

【0042】以上の構成において、光波長分割分離部11と光電変換部15により、ビットレート $f_0$  (bit/s) を有する光信号を電気強度変調信号に変換し、電気信号処理部19では、電気サンプリング法を用いており、サンプリングクロック発生部17から発生するクロック周波数 $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (N/M)f_0 + a$ 、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックにより、上記電気強度変調信号の強度をサンプリングすることによって光信号強度分布を測定する。

【0043】電気サンプリング法による光信号強度分布測定には、市販の電気サンプリング装置などを用いることができる。また、品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、前述の参考文献〔2〕に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0044】本実施形態は、信号ビットレート、信号形式および変調形式によらず单一の回路で雑音劣化や波形歪みなどの光信号品質劣化を監視する方法を、光波長分割分離部11を用いることにより、N波長の光波長分割多重信号に拡張した構成のものであり、光波長分割多重信号の光信号品質監視が可能となる。光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する方法は、電気信号処理に波長依存性がなく、また統計的手法であるため時系列での処理が可能であるので、電気信号処理部19は1系統にでき、装置規模の小型化・低価格化が可能となる。

【0045】また、本実施形態では、電気サンプリングを用いているため、光サンプリング法にくらべて装置規模が小さい。ただし、適用できる光信号ビットレートは光電変換部15の帯域で制限される。

【0046】(第5の実施形態) 図11に、本発明の第5の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の

構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、光波長分割分離部11、サンプリング光パルス列発生部21、サンプリング光パルス列分波部22、N個の光合波部23 (Nは2以上の整数) 、N個の非線形光学媒質24、N個の光分波部25、N個の光電変換部15および電気信号処理部26を有する。

【0047】光波長分割分離部11は、ビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する。サンプリング光パルス列発生部21は、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のパルス幅がビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生する。サンプリング光パルス列分波部22は、サンプリング光パルス列発生部21から発生したサンプリング光パルス列をN系列に分波する。N個の光合波部23は、光波長分割分離部11によって分離されたNチャネルの光波長分割分離信号と、サンプリング光パルス列分波部22によって分波されたN系列のサンプリング光パルス列を合波する。

【0048】N個の非線形光学媒質24は、光合波部23で合波された光波長分割分離信号とサンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する。N個の光分波部25は、非線形光学媒質24における非線形相互作用の結果により発生する相互相關光信号を、上記光波長分割多重信号や上記サンプリング光パルス列から分波する。N個の光電変換部15は光分波部25により分波されたNチャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換する。

【0049】電気信号処理部26は、光電変換部15で変換されたNチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基にNチャネルのそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献〔2〕に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0050】以上の構成において、本実施形態では光サンプリング法を用いて光信号の強度分布を測定する。すなわち、光波長分割分離部11、サンプリング光パルス列発生部21、サンプリング光パルス列分波部22、N個の光合波部23 (Nは2以上の整数) 、N個の非線形光学媒質24、およびN個の光分波部25により、ビットレート $f_0$  (bit/s) を有する光信号と、繰り返し周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (N/M)f_0 + a$ 、aはオフセット周波数) でパルス幅が光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を用いて、これら2つの光と異なる光周波数の相互相關信号を発生させる。そして、その相關光信号をN個の光電変換部15で光電変換した後に、電気信号処理部26において、

電気信号処理を行って光信号の強度分布を測定する。

【0051】上記光サンプリング法による光信号強度分布測定には、参考文献〔3〕の光サンプリングなどの公知技術を用いることができる（参考文献〔3〕 高良秀彦他：「和周波光発生を用いた光サンプリングによる超高速光波形測定法」，電子情報通信学会論文誌，B-1, vol. J75-B-1, No. 5, pp. 372-380, 1992年）。

【0052】また、上記相互相関信号は、第2次高調波発生、和周波光発生、差周波光発生、四光波混合光発生などを利用することにより得ることができる。なお、非線形光学媒質24はそれぞれ入射する光信号の波長に適用できれば良く、広波長帯域性は要求されない。

【0053】本実施形態は、前述の第4の実施形態と同様に、信号ビットレート、信号形式および変調形式によらずに单一の回路で雑音劣化や波形歪みなどの光信号品質劣化を監視する方法を、光波長分割分離部11を用いることにより、N波長の光波長分割多重信号に拡張した構成のものであり、光波長分割多重信号の光信号品質監視が可能となる。光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する電気信号処理に波長依存性がないため、電気信号処理部26は1系統にでき、装置規模の小型化・低価格化が可能となる。

【0054】また、本実施形態は、光サンプリングを用いるため、適用できる光信号ビットレートが光電変換部15の帯域で制限されず、電気サンプリングを用いる前述の第4の実施形態に比べて適用できる光信号ビットレートが広範囲となる。また、光電変換の帯域は $f_1$ によって決めることができ、信号ビットレート $f_0$ が大きい場合でも $f_1$ を小さく設定できるので、光電変換部をそれ以後の電気処理部の必要帯域を小さくすることができ、電気処理を行う装置部分の低価格化が可能となる。

【0055】（第6の実施形態）図12に、本発明の第6の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、光波長分割分離部11、N個の光ゲート部17、N個の光電変換部15、サンプリングクロック発生部17、および電気信号処理部19を有する。光波長分割分離部11は、ビットレート $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号を光波長分割分離する。サンプリングクロック発生部17は、繰り返しクロック周波数が $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生する。

【0056】光ゲート部17は各チャネルごとに備えられ、光波長分割分離部11で分割分離されたNチャネルのビットレート $f_0$  (bit/s) の光波長分割分離信号の強度を、サンプリングクロック発生部17の上記サンプリングクロックによりサンプリングする。N個の

光電変換部15は、各チャネルごとの光ゲート部17でサンプリングされた光信号を受光して電気強度変調信号に変換する。電気信号処理部19は、N個の光電変換部15から出力されるNチャネルの電気強度変調信号を信号処理を行なうことにより光信号強度分布を測定し、この光信号強度分布を基にNチャネルそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する。

【0057】具体的には、光ゲート部17は、繰り返し周波数 $f_1$  (Hz) のタイムスロット (=1/f\_0) 10以下のゲート幅で信号光をサンプリングし、電気信号処理部19は、光電変換部15により得られたサンプリング電気信号を光ゲート部17のサンプリングに同期して記憶し、そのサンプリング電気信号を基に光信号強度分布を求め、その分布を基に「レベル1」と「レベル0」それぞれのある平均時間内での平均値レベル及び標準偏差値を求めて光信号の品質を検査する。

【0058】すなわち、この構成の光信号品質モニタ装置は、従来の光信号品質モニタ装置で採用されていた光一光サンプリング方法や電気一電気サンプリング方法とは異なり、サンプリングクロックの電気信号によって光信号をサンプリングする、電気一光サンプリング方法が採用されている。なお、品質評価パラメータの評価方法は、参考文献〔2〕に記載されているものと同様である。

【0059】図13は、本発明の光信号品質モニタ装置に備える電気信号処理部19で測定される光強度ヒストグラムのレベル設定法の一例を説明するための図である。光電変換部15によって電気信号に変換された光信号が電気信号処理部19に入力されると、電気信号処理部19は電気信号のピーク値の検出及び分析を行ない、図13に示すような光強度のヒストグラムを測定する。そして、この光強度のヒストグラムを構成するサンプリング点のうち、予め定めた閾値レベル $L_{th1}$ より高い点群を「レベル1」とし、また別途定めた閾値レベル $L_{th0}$ より低い点群を「レベル0」として、「レベル1」と「レベル0」それぞれのある平均時間内での平均値レベル及び標準偏差値 ( $\sigma_1$  及び  $\sigma_0$ ) を求めて光信号の品質を評価している。

【0060】図14は、本発明の光信号品質モニタ装置に備えられる光ゲート部17の第1の構成例を説明するための図で、光ゲート部17は、コムジェネレータ1711と、バイアスT1712と、直流電源1713と、電界吸収型光変調器1714とから構成されている。

【0061】コムジェネレータ1711は、周波数 $f_1$ の正弦波のサンプリングクロックをデューティの小さい繰り返し周波数 $f_1$ の電気パルス列に変換し、この電気パルス列と直流電源1713からの直流電圧をバイアスT1712によって重畠し、電界吸収型光変調器1714の駆動信号とする。ゲート幅は、電気パルスのピーク

値や直流電圧の値を適当に設定することによって調整が可能であり、例えば、周波数1GHzのサンプリングクロックの場合には8ps程度のゲート幅とすることができる。このゲート幅は、市販の光電変換器と電気サンプリング装置を組み合わせて用いた場合の時間分解能である約10psよりも短く、ビットレート40Gbit/s程度の光信号には充分に対応が可能である。

【0062】図15は、本発明の光信号品質モニタ装置に備えられる光ゲート部172の第2の構成例を説明するための図である。光ゲート部172は、コムジェネレータ1721と、バイアスT1722と、直流電源1723と、位相調整装置1724と、第1の電界吸収型光変調器1725および第2の電界吸収型光変調器1726とから構成される。

【0063】この構成の光ゲート部172では、バイアスT1722からの電気信号は2つに分割されて、各々の電気信号が第1の電界吸収型光変調器1725と第2の電界吸収型光変調器1726に入力され、これらの電界吸収型光変調器1725、1726によって順番に光信号がサンプリングされる。このサンプリングの過程において、光信号が第1の電界吸収型光変調器1725と第2の電界吸収型光変調器1726でサンプリングされるタイミングを調節することにより、図14に示した1段構成の光ゲート部171よりも狭いゲート幅のサンプリングが可能となる。例えば、周波数が1GHzのサンプリングクロックの場合には5~6ps程度のゲート幅を得ることができ、70~80Gbit/s程度のビットレートの光信号の品質監視が可能となる。

【0064】なお、図15に示した2段構成の光ゲートでは電界吸収型変調器の損失は2倍になるから、透過するサンプリング光信号のレベルが低下して信号品質監視の特性劣化が生じる場合には、第1の電界吸収型光変調器1725と第2の電界吸収型光変調器1726との間、若しくは、これらの電界吸収型光変調器1725、1726の前後に、希土類添加ファイバ光増幅器や半導体光増幅器等の光増幅器1727を配置する構成としてもよい。

【0065】(第7の実施形態)図16に、本発明の第7の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、1個の光ゲート部171、サンプリングクロック発生部17、光波長分割分離部11、N個の光電変換部15、および電気信号処理部19を有する。サンプリングクロック発生部17は、繰り返し周波数が $f_1$ (Hz)( $f_1 = (n/m)f_0 + a$ :n, mは自然数、aはオフセット周波数)でパルス幅がビットレート $f_0$ (bit/s)の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリングクロックを発生する。光ゲート部171の動作は前述の第6の実施形態と同じであるが、光波長分割多重信号を光波長分割分離する前に、Nチャネル

一括して光ゲート部171を用いて得られた光ゲート信号に対して、光波長分割分離部11を用いて光波長分割分離を行うことが特徴である。

【0066】(第8の実施形態)図17に本発明の第8の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、サンプリング光パルス列発生部21、光合波部31、非線形光学媒質24、光波長分割分離部11、N個の光電変換部15、および電気信号処理部26を有する。

【0067】サンプリング光パルス列発生部21は、繰り返し周波数が $f_1$ (Hz)( $f_1 = (n/m)f_0 + a$ :n, mは自然数、aはオフセット周波数)でパルス幅がビットレート $f_0$ (bit/s)の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生する。光合波部31は、ビットレート $f_0$ (bit/s)の光信号がN波長多重(Nは2以上の整数)された光波長分割多重信号と、サンプリング光パルス列発生部21で発生したそのサンプリング光パルス列とを合波する。非線形光学媒質24は光合波部31で合波された光波長分割多重信号とサンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する。光波長分割分離部11は、非線形光学媒質24における非線形相互作用の結果により発生するその相互相關光信号をNチャネルに波長分割分離する。

【0068】N個の光電変換部15は、光波長分割分離部11により分割分離されたNチャネルの相互相關光信号を受光して、Nチャネルの電気強度変調信号に変換する。電気信号処理部26は、光電変換部15により変換されたNチャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基にNチャネルのそれぞれについて光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献[2]に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0069】以上の構成において、サンプリング光パルス列発生部21、光合波部31、非線形光学媒質24、および光波長分割分離部11により、ビットレート $f_0$ (bit/s)を有する光信号と、繰り返し周波数が $f_1$ (Hz)( $f_1 = (N/M)f_0 + a$ , aはオフセット周波数)でパルス幅が光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を用いて、これら2つの光と異なる光周波数の相互相關信号を発生させる。

【0070】続いて、N個の光電変換部15により相互相關光信号を光電変換した後に、電気信号処理部26において電気信号処理を行って光信号の強度分布を測定する光サンプリング法を用いる。この光サンプリング法による光信号強度分布測定には、前述の参考文献[3]に記載の光サンプリングなどを用いることができる。また、上記相互相關信号は、第2次高調波発生、和周波光

発生、差周波光発生、四光波混合光発生などを利用することにより得ることができる。

【0071】本実施形態では、非線形光学媒質24として、相互相關信号の発生効率が広帯域にわたって大きい非線形光学媒質を用いることにより、光合波手段、非線形光学媒質、光分波手段を1系統にすることができ、回路全体を小型化・低価格化できる。

【0072】また、本実施形態では、被測定対象である光波長分割多重信号のビットレート、信号形式および変調形式によらず、单一の回路で、雑音劣化や波形歪みなどの光信号品質劣化を監視できる。また、本実施形態は、電気サンプリングを用いる第4の実施形態1に比べて適用できる光信号ビットレートが広範囲である。また、非線形光学媒質24はすべての光信号波長に適用できねばならない(広波長帯域性)が、光合波部31、非線形光学媒質24の数が一つでよいので前述の第1、第5の実施形態に比べて構成が簡易化できる。

【0073】(第9の実施形態)図18に、本発明の第9の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、光波長選択部42、選択波長制御部41、1個の光電変換部15、サンプリングクロック発生部17、および電気信号処理部19を有する。

【0074】光波長選択部42は、ビットレート $f_0$ (bit/s)の光信号がN波長多重(Nは2以上の整数)された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する。選択波長制御部41は、光波長選択部42によって選択される波長を制御する。光電変換部15は光波長選択部42によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する。

【0075】サンプリングクロック発生部17は、繰り返し周波数が $f_1$ (Hz)( $f_1 = (n/m)f_0 + a$ :n, mは自然数, aはオフセット周波数)のサンプリングクロックを発生する。電気信号処理部19は、光電変換部15から出力される1チャネルの電気強度変調信号を、そのサンプリングクロック発生部17のサンプリングクロックによってサンプリングし、得られるサンプリング信号から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献「2」に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0076】以上の構成において、光波長選択部42はビットレート $f_0$ (bit/s)の光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択・分離し、光電変換部15はその選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号を受光して電気強度変調信号に変換する。電気信号処理部19は、サンプリングクロック発生部17からのクロック周波数 $f_1$ (Hz)( $f_1 = (N/M)f_0 +$

$a, a$ はオフセット周波数)で、上記電気強度変調信号强度をサンプリングすることによって光信号强度分布を測定する電気サンプリング法を用いる。電気サンプリング法による光信号强度分布測定には、市販の電気サンプリング装置などを用いることができる。

【0077】本実施形態では、電気信号処理部19に至るまでに光波長選択部42と選択波長制御部41を用いて、波長分離工程において波長選択を行うことで、N波長の光波長分割多重信号の各波長を時系列で順番に評価し、光波長分割多重信号評価を実現する。このため、電気信号処理部19への入力が1系統にでき、電気信号処理部19の構成が1系統バッファ、読み出しで済み、装置が簡潔化される。

【0078】本実施形態では、被測定対象である光波長分割多重信号のビットレート、信号形式および変調形式によらず单一の回路で雑音劣化や波形歪みなどの光信号品質劣化を監視できる。また、本実施形態における、光信号强度分布を基に光信号品質パラメータを評価する方法は、電気信号処理に波長依存性がなく、また統計的手法であるため時系列での処理が可能であるので、電気信号処理部19が1系統にでき、装置規模の小型化・低価格化が可能となる。

【0079】また、本実施形態では電気サンプリングを用いるため、光サンプリング法にくらべて装置規模が小さい。ただし適用できる光信号ビットレートが光電変換部15の帯域で制限される。また、本実施形態では光電変換部15を1つにすることができるため、回路全体を小型化・低価格化できる。

【0080】(第10の実施形態)図19に、本発明の第10の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、光波長選択部42、選択波長制御部41、サンプリングクロック発生部17、1個の光ゲート部171、1個の光電変換部15、および電気信号処理部26を有する。

【0081】本実施形態は、後述の第11の実施形態を説明する図20に示す光サンプリング部(光非線形光学媒質24、サンプリング光パルス列発生部21、光分波部25)のかわりに、第5の実施形態に記載の光ゲート部171およびサンプリングクロック発生部17を用いたことが特徴である。後述のように、本実施形態では、WDM信号を一括して光クロック光サンプリングし、波長分割分離した後、N系統並列光電変換することで、1系統の電気信号処理部を実現しており、電気信号処理に至るまで光サンプリングを用いることで、電気信号処理の電気帯域を小さくする。

【0082】光波長選択部42は、ビットレート $f_0$ (bit/s)の光信号がN波長多重(Nは2以上の整数)された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する。選択波長制御部41

は、光波長選択部42によって選択される波長を制御する。サンプリングクロック発生部17は、繰り返し周波数が $f_1$ (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$ : n, mは自然数、aはオフセット周波数)のサンプリングクロックを発生する。光ゲート部171は光波長選択部42によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号の強度を、サンプリングクロック発生部17のサンプリングクロックによりサンプリングする。

【0083】光電変換部15は、光ゲート部171から出力する光ゲート信号(繰り返し周波数 $f_1$ (bit/s) × 1波長)を受光して電気強度変調信号に変換する。電気信号処理部26は、光電変換部15から得られる1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献[2]に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0084】(第11の実施形態)図20に本発明の第11の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、光波長選択部42、選択波長制御部41、サンプリング光パルス列発生部21、光合波部31、1個の非線形光学媒質24、1個の光分波部25、1個の光電変換部15、および電気信号処理部26を有する。

【0085】光波長選択部42は、ビットレート $f_0$ (bit/s)の光信号がN波長多重(Nは2以上の整数)された光波長分割多重信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する。選択波長制御部41は、光波長選択部42によって選択される波長を制御する。サンプリング光パルス列発生部21は、繰り返し周波数が $f_1$ (Hz) ( $f_1 = (n/m)f_0 + a$ : n, mは自然数、aはオフセット周波数)でパルス幅がビットレート $f_0$ (bit/s)の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生する。光合波部31は、光波長選択部42によって選択・分離された1チャネルの光波長分割分離信号とサンプリング光パルス列発生部21から発生するサンプリング光パルス列とを合波する。

【0086】非線形光学媒質24は、光合波部31で合波された上記光波長分割分離信号と上記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する。光分波部25は、非線形光学媒質24における非線形相互作用の結果により発生する相互相関光信号を、上記光波長分割分離信号や上記サンプリング光から分波する。

【0087】光電変換部15は、光分波部25から出力する1チャネルの相互相関光信号を受光して電気強度変調信号に変換する。電気信号処理部26は、光電変換部15から得られる1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価

方法の詳細は後述するが、参考文献[2]に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0088】以上の構成において、光波長選択部42、選択波長制御部41、サンプリング光パルス列発生部21、光合波部31、1個の非線形光学媒質24、および1個の光分波部25により、ビットレート $f_0$ (bit/s)を有する光信号と、繰り返し周波数が $f_1$ (Hz) ( $f_1 = (N/M)f_0 + a$ , aはオフセット周波数)でパルス幅が光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を用いて、これら2つの光と異なる光周波数の相互相関信号を発生させる。

【0089】続いて、光電変換部15により上記相関光信号を光電変換した後に、電気信号処理部26において電気信号処理を行って、光信号の強度分布を測定する光サンプリング法を用いる。この光サンプリング法による光信号強度分布測定には、前述の参考文献[3]の光サンプリングなどを用いることができる。また、上記相互相関信号は、第2次高調波発生、和周波光発生、差周波光発生、四光波混合光発生などを利用することにより得ることができる。

【0090】本実施形態では、被測定対象である光波長分割多重信号のビットレート、信号形式および変調形式によらず単一の回路で雑音劣化や波形歪みなどの光信号品質劣化を監視できる。また、本実施形態では、光波長選択部42と選択波長制御部41を用いることにより、N波長の光波長分割多重信号の各波長を時系列で順番に評価し、光波長分割多重信号評価を実現する。また本実施形態では、非線形光学媒質24として相互相関信号の発生効率が広帯域にわたって大きい非線形光学媒質を用い、かつ、波長選択部42により時系列で光信号品質監視を行うことにより、光合波部31、非線形光学媒質24、光分波部25、および光電変換部15を1系統にすることができ、回路全体を小型化・低価格化できる。

【0091】また、本実施形態では、電気サンプリングを用いる第1、第9の実施形態に比べて適用できる光信号ビットレートが広範囲である。また、非線形光学媒質24はすべての光信号波長に適用できねばならない(広波長帯域性)が、光合波部31、非線形光学媒質24、光電変換部15の数が一つでよいので第5、第8の実施形態に比べて構成が簡易化できる。

【0092】(第12の実施形態)図21は、本発明の第12の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、サンプリングクロック発生部17、1個の光ゲート部171、光波長選択部42、選択波長制御部41、1個の光電変換部15、および電気信号処理部26を有する。本実施形態は、前述の第10の実施形態の光波長選択部42と選択波長制御部41が、光ゲート部171の後段に配置されていることが特徴である。

【0093】サンプリングクロック発生部17は、繰り

返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m) f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) のサンプリングクロックを発生する。光ゲート部171はビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号の強度を、サンプリングクロック発生部17のサンプリングクロックによりサンプリングする。光波長選択部42は、光ゲート部171から出力する繰り返し周波数  $f_1$  (bit/s)  $\times N$  波長のゲート信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する。選択波長制御部41は、光波長選択部42によって選択される波長を制御する。

【0094】光電変換部15は、光波長選択部42から出力する光ゲート信号 (繰り返し周波数  $f_1$  (bit/s)  $\times 1$  波長) を受光して電気強度変調信号に変換する。電気信号処理部26は、光電変換部15から得られる1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献 [2] に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0095】(第13の実施形態) 図22に本発明の第13の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示す。本実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置は、サンプリング光パルス列発生部21、光合波部31、1個の非線形光学媒質24、光波長選択部42、選択波長制御部41、1個の光電変換部15、および電気信号処理部26を有する。本実施形態は、前述の第11の実施形態の光分波部がなく、光波長選択部42および選択波長制御部41が非線形光学媒質24の後段に配置されていることが特徴である。

【0096】サンプリング光パルス列発生部21は、繰り返し周波数が  $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (n/m) f_0 + a$  : n, mは自然数、aはオフセット周波数) でパルス幅がビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号のタイムスロットよりも十分狭いサンプリング光パルス列を発生する。光合波部31は、ビットレート  $f_0$  (bit/s) の光信号がN波長多重 (Nは2以上の整数) された光波長分割多重信号とサンプリング光パルス列発生部21から発生するサンプリング光パルス列とを合波する。

【0097】非線形光学媒質24は、光合波部31で合波された上記光波長分割多重信号と上記サンプリング光パルス列の非線形相互作用を誘起する。光波長選択部42は、非線形光学媒質24から出力するビットレート  $f_0$  (bit/s)  $\times N$  波長の相互相關光信号から任意の1チャネルを選択し、光波長分割分離する。選択波長制御部41は、光波長選択部42によって選択される波長を制御する。

【0098】光電変換部15は、光波長選択部42から出力する1チャネルの相互相關光信号を受光して電気強度変調信号に変換する。電気信号処理部26は、光電変

換部15から得られる1チャネルの電気強度変調信号から光信号強度分布を求め、その光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する。品質評価パラメータの評価方法の詳細は後述するが、参考文献 [2] に記載のような公知の品質評価パラメータ評価方法も適用できる。

【0099】(第14の実施形態) 図23に本発明の第14の実施形態として、本発明の第8、第13の実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置における光サンプリング工程サンプリング光パルス列発生部21と光合波部31と非線形光学媒質24を用いた部分) の構成例を示す。本実施形態の構成は、光サンプリング工程において、光波長分割多重信号の偏波状態を制御する偏波制御部27を備えることを特徴としている。この偏波制御部27は光波長分割多重信号の全チャネルの偏波状態を一括して制御し、サンプリング光パルス列発生部21から出力されるサンプリング光パルス列の偏波状態に対して一定の偏波関係を持たせるようにする機能を有する。

【0100】ここで、光サンプリング工程が光ゲート部171とサンプリングクロック発生部17とで構成される場合 (第7および第12の実施形態の図16と21) は、光ゲート部171に用いられる電界吸収型光変調器の偏波依存性に応じて偏波制御部27が用いられる。この偏波制御部27としては1個の偏波制御器を用いることができる。または、光波長分割多重信号の各チャネルの偏波状態が相互に異なる場合は、2個以上の偏波制御器と光波長分割分離部、および光波長分割多重部 (図示しない) を用いることができる。

【0101】また、光波長分割多重信号のかわりに1チャネル (1波長) の光信号が、非線形光学媒質に入射されるような場合 (第4および第11の実施形態の図10と20) 、または光ゲート部171に入射されるような場合 (第5および第10の実施形態の図11と19) には、用いる偏波御器27は1個でよい。

【0102】(第15の実施形態) 図24に本発明の第15の実施形態として、本発明の第5、第8、第11、第13の実施形態の光波長分割多重信号モニタ装置における光サンプリング工程 (サンプリング光パルス列発生部21と光合波部23 (または31) と非線形光学媒質24を用いた部分) の他の構成例を示す。本実施形態の構成は、この光サンプリング工程において、光波長分割多重信号の波長分散を制御する波長分散制御部28を備えることを特徴としている。この波長分散制御部28は光波長分割多重信号の全チャネルの波長分散を一括して補償する機能を有する。この波長分散制御部28としては、1個の波長分散補償器を用いることができる。または、2個以上の波長分散補償器と光波長分割分離部および光波長分割多重部 (図示しない) を用いることができる。波長分散補償器としては光ファイバやファイバグレーティング、位相制御型の波長分散補償器などを用いる

ことができる。また、光波長分割多重信号のかわりに1チャネル（1波長）の光信号が非線形光学媒質に入射されるような場合（第4および第11の実施形態の図10と20）には、用いる波長分散補償器は1個でよい。

【0103】以下に、上述の第1～第15の実施形態における電気信号処理部19、26で遂行される品質評価パラメータの評価方法の具体例を例示する。

【0104】（第16の実施形態）図25の（A）、図25の（B）は本発明の第16の実施形態の光ネットワークの構成を示す。図25の（A）は予備回線を備えるリング構成の光ネットワークであり、光ADMリングなどもこれに含まれる。また、図25の（B）はメッシュ構成の光ネットワークである。

【0105】どちらの場合も、光ネットワークは、SONET／SDHフレームやATMセルやIPパケットなどの多様な変調形式・フォーマット・ビットレートの電気信号を適当なキャリア波長の光信号に変換することにより収容することができる、光レイヤを含む階層構造を備える。また、その光ネットワークを構成する各光ノード102は、それぞれ1対または複数対の光信号送信端局および光信号受信端局（送受信端局104）を含んでおり、ある光ノードの光信号送信端局104と他の光ノードの光信号受信端局104との間で光信号が終端される。また、この光ネットワークは、光信号の終端毎に、変調形式・フォーマット・ビットレートに無依存な光信号経路を形成する。ここで、光ノード102において光信号がスルーされる場合も含まれる。また、光送受信端局104間で光増幅中継を行う場合も含まれる。

【0106】本発明では、後述のように、光信号受信端局において光信号監視を行い、光送受信端局間の制御チャネルを利用して、モニタ情報（監視情報と同義である。）を光信号送信端局に送り、モニタ情報に基づいて適宜に光信号切替を行う。

【0107】図26に本実施形態における光送受信端局104内の構成例を示す。上位の光レイヤに収容された信号は光信号送信端局202の光送信器204で受信され、経路切替部206を介して伝送路212に送信される。光信号受信端局216において、入力した光信号の一部を光分岐器218により分岐し、分岐した光信号を利用して光信号モニタ部（光信号監視部と同義である。）220により光信号監視を行う。

【0108】ここで、光分岐器218は前述の本発明の第4、第5、第7、第8、第11の実施形態における図10～図20の構成において電気信号処理部19、26を除く構成部分とする。そして、光信号モニタ部220が前述の本発明の第4、第5、第7、第8、第11の実施形態における電気信号処理部19、26中の品質評価パラメータの評価を実行する部分である。

【0109】光信号モニタ部220は、信号対雑音比係數測定部222と初期状態記憶部224と光信号品質評

価部226とで構成し、光信号変調形式・フォーマット・ビットレートに無依存なアナログ監視をする。信号対雑音比係數測定部222は、ある光ノードの光信号送信端局202と他の光ノードの光信号受信端局216間の伝送路212を伝送した光信号の信号対雑音比係數を測定する。初期状態記憶部224は、システム導入時にあらかじめ障害がない状態に信号対雑音比係數測定部222で測定した信号対雑音比係數を記憶する。光信号品質評価部226は、システム運用時において一定の時間間隔で信号対雑音比係數測定部222で測定して得られる信号対雑音比係數の値を、導入時に初期状態記憶部224に記憶した信号対雑音比係數の値とを比較する。

【0110】ある光ノードの光信号受信端局216と他の光ノードの光信号送信端局202間には、伝送路212の他に、光信号モニタ部220のモニタ情報を光信号送信端局202へ伝送するための制御チャネル214が設けられ、また、光信号受信端局216と光信号送信端局202のそれぞれに、モニタ情報制御部228、210が設けられる。モニタ情報制御部228、210は、光信号品質評価部226における光信号品質評価に基づいて、伝送路212における障害などに起因する光信号劣化または光信号波形歪みによりネットワーク障害が発生したことを認識し、認識した情報を含むモニタ情報を制御チャネル214を通じてやりとりする。

【0111】光信号送信端局202に経路切替部206が設けられる。モニタ情報制御部から210のモニタ情報に基づいて、経路切替部206により伝送路212の経路切替を行うことで、ネットワーク障害を回復する。

【0112】図18は本発明の第16の実施形態の光信号モニタシステム（光信号監視システムと同義である。）における経路制御の動作手順を示す。

【0113】ステップS1：障害がない状態のシステム導入時に信号対雑音比係數測定部222において信号対雑音比係數を測定する。

【0114】ステップS2：上記ステップS1で測定した信号対雑音比係數を初期状態記憶部224に記憶する。

【0115】ステップS3：システム運用開始後は信号対雑音比係數測定部222において一定の時間間隔で信号対雑音比係數を測定する。

【0116】ステップS4：信号対雑音比係數を測定するごとにその測定値を光信号品質評価部226において初期状態記憶部224の値と比較する。

【0117】ステップS5：光信号品質評価部226は、初期状態からの信号対雑音比係數値の変化をモニタ情報としてモニタ情報制御部228に伝える。また、ここで、信号対雑音比係數値の変化の度合いから障害が発生したことを認識した場合は、経路切替が必要な旨の警報情報をモニタ情報としてモニタ情報制御部228に伝える。

【0118】ステップS6：モニタ情報制御部228は制御チャネル214を用いて上記モニタ情報を光信号送信端局202側のモニタ情報制御部210に伝える。

【0119】ステップS7：光信号送信端局202のモニタ情報制御部210は受信した上記モニタ情報に基づいて必要に応じて経路切替を行う旨を経路切替部206に伝える。

【0120】ステップS8：経路切替部206はモニタ情報制御部210の指示に従って伝送路212の経路切替を行う。

【0121】ここで、信号対雑音比係数測定部222には、例えば、参考文献[2]の光信号品質監視などを用いることができる（参考文献[2]）。これは、ビットレートや信号形式や変調形式に応じた受信系（クロック抽出回路、受信回路、フレーム検出回路、バリティ検査回路または照合回路からなる誤り検出回路）が必要なく、単一の受信系で任意のビットレートや信号形式や変調形式の信号に対応できる。

【0122】図28、図29は光信号品質監視を利用した信号対雑音比係数測定部222の構成例を示し、図28は電気サンプリングオシロスコープ404を用いる場合、図29は光サンプリングオシロスコープ414を用いる場合を示す。

【0123】図28の電気サンプリングオシロスコープ404を用いる場合は、所定のビットレート $f_0$  (bit/s) を有する光強度変調信号を光電変換部402により電気強度変調信号に変換し、電気サンプリングオシロスコープ404によって、所定のクロック周波数 $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (N/M)f_0 + a$ , N, Mは整数、aはオフセット周波数) で上記電気強度変調信号の強度をサンプリングすることによって一定時間における信号強度分布を得たのち、信号処理部406において信号対雑音比係数評価を行なう。信号処理部406はヒストグラム評価部408と信号対雑音比係数評価部420とから構成する。ヒストグラム評価部408は、電気サンプリングオシロスコープ404で得られる信号強度分布から振幅ヒストグラムを求める。信号対雑音比係数評価部410は、その求めた振幅ヒストグラムから2値デジタル符号の「レベル1」と「レベル0」の分布を求め、「レベル1」と「レベル0」それぞれの平均値強度の差と、「レベル1」と「レベル0」それぞれの標準偏差値の和の比として得られる信号対雑音比係数を評価する。

【0124】図28の構成は簡易であるが、適応可能な光信号ビットレートが光電変換部402の帯域で制限される。

【0125】一方、図29の光サンプリングオシロスコープ414を用いる場合は、光サンプリングオシロスコープ414によって一定時間における信号強度分布を得たのち、信号処理部416において信号対雑音比係数評

価を行う。光サンプリングオシロスコープ414による光信号強度分布測定には、参考文献[3]に記載の光サンプリングなどを用いることができる。（参考文献[3]：高良秀彦他「和周波光発生を用いた光サンプリングによる超高速光波形測定法」、電子情報通信学会論文誌、B-1, vol. J75-B-1, No.5, pp. 372-380, 1992年）。

【0126】この光サンプリングは相互相関信号を得るために、第2次高調波発生、和周波光発生、差周波光発生、四光波混合光発生などを利用することが特徴であり、相互相関信号から信号強度分布を得る。

【0127】例えば、光サンプリングオシロスコープ414は、所定のビットレート $f_0$  (bit/s) を有する光信号と、繰り返し周波数が所定の $f_1$  (Hz) ( $f_1 = (N/M)f_0 + a$ , N, Mは整数、aはオフセット周波数) で、パルス幅が光信号のタイムスロットよりも十分に狭いサンプリング光パルス列を用いて、これら2つの光と異なる光周波数の相互相関光信号を発生させ、相互相関光信号を電気信号に変換し、相互相関光信号を光電変換した後に、電気信号処理を行って光信号の一定時間における強度分布を測定する。

【0128】信号処理部416は、ヒストグラム評価部418と信号対雑音比係数評価部420とから構成する。ヒストグラム評価部418は、光サンプリングオシロスコープ414で得られる信号強度分布から振幅ヒストグラムを求める。信号対雑音比係数評価部420は、求めた上記振幅ヒストグラムから2値デジタル符号の「レベル1」と「レベル0」の分布を求め、「レベル1」と「レベル0」それぞれの平均値強度の差と、「レベル1」と「レベル0」それぞれの標準偏差値の和の比として得られる信号対雑音比係数を評価する。

【0129】図29の構成は図28よりも高速の光信号に適用できる。

【0130】次に、図30の(A)～図33の(B)に、光信号品質監視を行う信号対雑音比係数測定部222における信号対雑音比係数測定のアルゴリズムの一例を示す。

【0131】図30の(A)：光サンプリングオシロスコープ414による光サンプリング、または電気サンプリングオシロスコープ404による電気サンプリングにより、ある平均時間内の強度分布を求める。

【0132】図30の(B)：得られた上記強度分布から振幅ヒストグラムを求める。

【0133】図31の(A)：振幅ヒストグラムのうち強度レベルの小さい方から調べたときの極大値を $m_0'$ と定める。

【0134】図31の(B)：強度レベル最大のサンプリング点から強度レベルが小さい方に向かってサンプリング点数を積分して、

… (1)

45

(但し、N(total) は全サンプリング点数、D は光信号のデューティー比 (パルス幅とタイムスロットの比)、M はマーク率 (デジタル伝送におけるレベル 1 の発生確率) ) で求まるサンプリング点数 N(middle) と積分値 \*  
 $m1' = 2 \times \{m(middle) - m0'\}$

【0136】図32の(B)：次の(3)式と(4)式  
で求まる強度レベルをしきい値A、図しきい値Bと定め※

$$A = m1' - \alpha(m1' - m0')$$

$$B = m0' + \alpha(m1' - m0')$$

但し、 $\alpha$  は  $0 < \alpha < 0.5$  の実数である。強度レベルがしきい値 A 以上の分布をレベル 1 の分布、しきい値 B 以下の分布をレベル 0 の分布とする。

【0137】図33の(A)：図32の(B)で定めたレベル 1 およびレベル 0 の分布において、それぞれ平均値  $m_1$ 、 $m_0$  と標準偏差  $s_1$ 、 $s_0$  を求める。

【0138】図33の(B)：図33の(A)で求めた平均値と標準偏差から、次の(5)式で求まる Q 値を信号対雑音比係数として品質評価パラメータとする。

$$Q = |m_1 - m_0| / (s_1 + s_0) \quad \cdots (5)$$

【0139】図34は図30の(A)～図33の(B)に示すような手順で得られた信号対雑音比係数の実験データ例を示す。一例として、10Gb/s の NRZ 信号を用い、電気サンプリングを用いた。 $\alpha$  の値は 0.3 とした。横軸が測定したビット誤り率 (BER) から換算した Q 値であり、雑音による実際の光信号品質変化を表している。縦軸が図30の(A)～図33の(B)のアルゴリズムで求めた信号対雑音比係数である。

【0140】図34は、図28および図33の(A)～図33の(B)で述べた光信号品質監視を利用した信号対雑音比係数が雑音劣化を知るためのパラメータとして利用できることを示しており、経路切替を行う上でのモニタ情報として利用できることを示している。

【0141】図35は波長分散の影響がある場合の実験データ例を示す。上記図34の場合と同様に、10Gb/s の NRZ 信号を用い、電気サンプリングを用いた。 $\alpha$  の値は 0.3 とした。横軸が測定したビット誤り率 (BER) から換算した Q 値であり、雑音による実際の光信号品質変化を表している。縦軸が図30の(A)～図33の(B)のアルゴリズムで求めた信号対雑音比係数である。図35中の三角のプロットは光信号の受ける波長分散値が 0 ps/nm の場合を示しており、円のプロットは光信号の受ける波長分散値が 1400 ps/nm の場合を示している。

【0142】図35は、光信号品質監視を利用した信号対雑音比係数が、波長分散による波形歪みに対しても感度があること、および波長分散による波形歪みがある状態での雑音劣化に対しても感度があることを示している。

【0143】(第17の実施形態) 図36の(A)、図

46

\* が等しくなったときの、積分したサンプリング点の最小レベルを  $m(middle)$  とする。

【0135】図32の(A)：次の(2)式で求まる  $m1'$  を定める。

$$\cdots (2)$$

※る。

$$\cdots (3)$$

$$\cdots (4)$$

10 36 の(B) は本発明の第17の実施形態の光ネットワークの構成を示す。特に、本実施形態では、光送受信端局間で光増幅中継を行う場合に障害区間を光増幅中継区間単位で同定する例を示す。図36の(A)は予備回線 510 を備えるリング構成の光ネットワークであり、光 ADM リングなどもこれに含まれる。また、図36の(B)はメッシュ構成の光ネットワークである。

【0144】図36の(A)、図36の(B)のどちらの場合も、光ネットワークを構成する各光ノード 502 は、それぞれ 1 対または複数対の光信号送信端局および光信号受信端局 (送受信端局 504) を含んでおり、ある光ノードの光送受信端局 104 と他の光ノードの光送受信端局 104 との間で光信号は終端される。また、この光ネットワークには、光ノード 502 において光信号がスルーされる場合も含まれる。

【0145】上述の第16の実施形態と同様に、光信号受信端局において光信号監視を行い、光送受信端局間の制御チャネルを利用してモニタ情報を光信号送信端局に送り、障害区間の同定を行う。

【0146】図37に、図36の(A)、図36の(B)  
30 の光送受信端局 504 の内部構成例を示す。ここで、図 26 の第16の実施形態と同様な機能を有する構成部分は同一符号を付すこととする。ある光信号送信端局 602 の光送信器 604 において上位光レイヤに収容された光信号は、経路切替部 606 を介して伝送路 212 に送信される。そして、光信号受信端局 216 において入力した光信号の一部を利用して、光信号モニタ部 220 において光信号監視を行う。光信号モニタ部 220 は、信号対雑音比係数測定部 222 と初期状態記憶部 224 と光信号品質評価部 226 とで構成され、後述の図39に示すような手順で障害区間の同定を行う。

【0147】ここで、光分岐器 218 は前述の本発明の第4、第5、第7、第8、第11の実施形態における図 10～図20の構成において電気信号処理部 19、26 を除く構成部分とする。そして、光信号モニタ部 220 が前述の本発明の第4、第5、第7、第8、第11の実施形態における電気信号処理部 19、26 中の品質評価パラメータの評価を実行する部分である。

【0148】図38は図37の光増幅中継系 506 の内部構成例を示す。光増幅中継系 506 は、伝送路 212 を伝送されてきた光信号を増幅する光増幅器 716 と、

増幅された光信号の一部を取り出す光分岐器718と、分岐された光信号の監視を行う光信号モニタ部720と、光信号モニタ部720からのモニタ情報を制御チャネル212を介して光信号送信端局602側へ送信するモニタ情報制御部728とを有する。光増幅後の光分岐器718により分岐した光信号を光信号モニタ部720で処理することによりモニタ情報を得る。ここで、光分岐器712は光増幅器716の前段に用いても良い。

【0149】光信号モニタ部720は、光信号受信端局216の光信号モニタ部720と同様に、信号対雑音比係数測定部722と初期状態記憶部724と光信号品質評価部726などで構成され、後述の図39に示すような手順で障害区間の同定を行う。

【0150】次に、図39のフローチャートを参照して、本発明の第17の実施形態における動作手順を説明する。なお、図27の第16の実施形態におけると同様な内容の手順に対しては、同一のステップ番号を付した。

【0151】ステップS1：光信号受信端局216と光増幅中継系506において、障害がない状態のシステム導入時に信号対雑音比係数測定部222、722において信号対雑音比係数を測定する。

【0152】ステップS2：ステップS1で測定した信号対雑音比係数をそれぞれの初期状態記憶部224、724において記憶する。

【0153】ステップS3：システム運用開始後は、光信号受信端局216と光増幅中継系506において、信号対雑音比係数測定部222、722において一定の時間間隔で信号対雑音比係数を測定する。

【0154】ステップS4：信号対雑音比係数を測定するごとに、それぞれの光信号品質評価部226、726においてその信号対雑音比係数の値と初期状態記憶部224、724の値と比較する。

【0155】ステップS5：光信号品質評価部226、726は、初期状態からの信号対雑音比係数値の変化をモニタ情報としてそれぞれのモニタ情報制御部228、728に伝える。ここで、信号対雑音比係数値の変化の度合いから障害が発生したことを認識した場合は、経路切替が必要な旨の警報情報をモニタ情報として伝える。

【0156】ステップS6：それぞれのモニタ情報制御部228、728は制御チャネル214を用いてモニタ情報を光信号送信端局602側のモニタ情報制御部610に伝える。

【0157】ステップS71：光信号送信端局602のモニタ情報制御部610は、光信号受信端局216や光増幅中継系506のモニタ情報制御部228、728から送られてくるモニタ情報を障害区間同定部612に伝える。

【0158】ステップS72：光信号送信端局602の障害区間同定部612は各光増幅中継系506や光信号

受信端局216から送られてくるモニタ情報から、どの区間で信号劣化が生じたかを認識する。

【0159】なお、この場合も本発明の第4の実施形態と同様に経路切替を同時に用いることができる。その場合は、ステップS73：光信号送信端局602のモニタ情報制御部610は、各光増幅中継系506や光信号受信端局216から送られてくるモニタ情報に基づいて必要に応じて経路切替を行なう旨を経路切替部606に伝え

る。

10 【0160】ステップS8：経路切替部606はモニタ情報制御部610の指示に従って伝送路212の経路切替を行う。

【0161】図37、図38の信号対雑音比係数測定部222、722には参考文献〔2〕の光信号品質監視などを用いることができる。光信号品質監視を利用した信号対雑音比係数部の構成や測定アルゴリズムなどは本発明の第16の実施形態で図28～図33の(A)、図33の(B)を用いて示したとおりである。

【0162】また、本発明の第17の実施形態のように、光増幅中継系506にアナログ監視を用いる場合、分散補償のされていない光信号を監視することになるため、波長分散による波形歪みが大きい場合の雑音劣化を監視する可能性があるが、図35のデータ例に示すように、この場合にも光信号品質監視による信号対雑音比係数は十分利用できることがわかる。よって、光信号品質監視による信号対雑音比係数は障害区間の同定にも利用できる。

【0163】(第18の実施形態) 次に、図40の(A)～図43に、本発明の第18の実施形態として、光信号品質監視を行う信号対雑音比係数測定部222、722における信号対雑音比係数測定のアルゴリズムの他の例を示す。

【0164】図40の(A)：まず、図29のような構成を用いた光サンプリングオシロスコープ414による光サンプリング、または図28のような構成を用いた電気サンプリングオシロスコープ404による電気サンプリングにより、ある平均時間内の強度分布を求める。

【0165】図40の(B)：得られた強度分布から振幅ヒストグラムを求める。

40 【0166】図41の(A)：振幅ヒストグラムのうち強度レベルの大きい方から調べたときの最初の極大値をしきい値Aと定める。

【0167】図41の(B)：振幅ヒストグラムのうち強度レベルの小さい方から調べたときの最初の極大値をしきい値Bと定める。

【0168】図42の(A)：振幅ヒストグラムのうち、強度レベルがしきい値A以上の部分を正規分布g1と仮定し、最小二乗法などによりフィッティング(近似)して、レベル1の平均値m1と標準偏差s1を求める。

50 【0169】図42の(B)：図42の(A)と同様に、

49

振幅ヒストグラムのうち、強度レベルがしきい値B以下の部分を正規分布 $g_0$ と仮定し、最小二乗法などによりフィッティングして、レベル0の平均値 $m_0$ と標準偏差 $s_0$ を求める。

$$Q = |m_1 - m_0| / (s_1 + s_0)$$

【0171】上記の分布関数 $g_0$ ,  $g_1$ としては、カイ二乗分布を仮定することもできる（参考文献〔4〕：D. Marcuse, "Derivation of Analytical Expressions for the Bit-Error Probability in Lightwave Systems with Optical Amplifiers," IEEE J. Lightwave Technol., Vol. 8, No. 12, pp1816-1823, 1990）。

【0172】（第19の実施形態）図44の(A)～図47に、本発明の第19の実施形態として、光信号品質監視を行う信号対雑音比係数測定部222、722における信号対雑音比係数測定のアルゴリズムの更に他の例を示す。本実施形態はアルゴリズムにおいて、しきい値A, Bを求める部分が上述の本発明の第18の実施の形態と異なる。

\*

※ 【0170】図43：図42の(A)と図42の(B)で

求めた平均値 $m_1$ 、 $m_0$ と標準偏差 $s_1$ 、 $s_0$ から、次の(6)式で求まるQ値を信号対雑音係数として光信号品質評価パラメータとする。

$$\cdots (6)$$

※ 【0173】図44の(A)：まず、図29のような構成を用いた光サンプリングオシロスコープ414による光サンプリング、または図28のような構成を用いた電気サンプリングオシロスコープ404による電気サンプリングにより、ある平均時間内の強度分布を求める。

【0174】図44の(B)：得られた強度分布から振幅ヒストグラムを求める。

【0175】図45の(A)：振幅ヒストグラムのうち強度レベルの小さい方から調べたときの最初の極大値をしきい値Bと定める。

【0176】図45の(B)：強度レベル最大のサンプリング点から強度レベルが小さい方に向かってサンプリング点数を積分して、

$$\cdots (7)$$

(但し、 $N(\text{total})$  は全サンプリング点数、Dは光信号のデューティ比（パルス幅とタイムスロットの比）、Mはマーク率（デジタル伝送におけるレベル1の発生確率）)で求まるサンプリング点数 $N(\text{middle})$ と積分値★

$$\text{しきい値 } A = 2 \times \{m(\text{middle}) - \text{しきい値 } B\} \cdots (8)$$

★0と標準偏差 $s_1$ ,  $s_0$ を求める。

【0177】図46の(A)：次の(8)式でしきい値Aを求める。

$$\cdots (8)$$

【0178】図46の(B)：振幅ヒストグラムのうち、強度レベルがしきい値A以上の部分を正規分布 $g_1$ の一部と仮定し、強度レベルがしきい値B以下の部分を正規分布 $g_0$ の一部と仮定し、最小二乗法などによりフィッティングして、レベル1、レベル0の平均値 $m_1$ ,  $m_0$

$$Q = |m_1 - m_0| / (s_1 + s_0)$$

【0180】上記分布関数 $g_0$ ,  $g_1$ としては、カイ二乗分布を仮定することもできる（参考文献〔4〕）。

【0181】前述した本発明の第18の実施形態は、最も簡単な方法であるという利点があるが、適用の範囲がNRZ信号に限られる。これに対し、本第19の実施形態は、第18の実施形態よりも複雑であるが、NRZ信号だけでなく、RZ信号にも適用できるという利点がある。但し、上式(7)に示すように、信号パルスのデューティ比Dとマーク率Mを予め知しておく必要がある。

【0182】（第20の実施形態）図48の(A)～図51に、本発明の第20の実施形態として、光信号品質監視を行う信号対雑音比係数測定部222、722における信号対雑音比係数測定のアルゴリズムの更に他の例を示す。本実施形態はアルゴリズムにおいて、しきい値A, Bを求める部分が上述の本発明の第18の実施形態および第19の実施形態と異なる。

【0183】図48の(A)：まず、図29のような構成を用いた光サンプリングオシロスコープ414による光サンプリング、または図28のような構成を用いた電気サンプリングオシロスコープ404による電気サン

40

リングにより、ある平均時間内の強度分布を求める。

【0184】図48の(B)：得られた強度分布から振幅ヒストグラムを求める。

【0185】図49の(A)：振幅ヒストグラムのうち強度レベルの小さい方から調べたときの最初の極大値をしきい値Bと定める。

【0186】図49の(B)：振幅ヒストグラムのうち、強度レベルがしきい値B以下の部分を正規分布 $g_0$ の一部と仮定し、最小二乗法などによりフィッティングして、レベル0の平均値 $m_0$ と標準偏差 $s_0$ をそれぞれ求める。

【0187】図50の(A)：振幅ヒストグラム全体から図49の(B)で求めた関数 $g_0$ を差し引いた分布 $g_{1x}$ を求め、分布 $g_{1x}$ のうちで強度レベルの大きい方から調べたときの最初の最大値をしきい値Aと定める。 $g_{1x}$ は、レベル1の分布関数 $g_1$ とクロスポイントの分布関数 $g_x$ を重ね合わせと考えられる。

【0188】図50の(B)：分布 $g_{1x}$ のうちで強度レベルがしきい値A以上の部分を正規分布 $g_1$ の一部と仮定し、最小二乗法などによりフィッティングして、レベ

50

ル1の平均値 $m_1$ と標準偏差 $s_1$ をそれぞれ求める。

【0189】図51：図50の(B)と図49の(B)で\*

$$Q = |m_1 - m_0| / (s_1 + s_0)$$

で求まるQ値を信号対雑音係数として光信号品質評価パラメータとする。

【0190】上記分布関数 $g_0$ ,  $g_1$ としては、カイ二乗分布を仮定することもできる（参考文献〔4〕）。

【0191】本第20の実施形態は、前述の第19の実施形態よりも複雑であるが、RZ信号にも適用でき、しかも信号パルスのデューティ比とマーク率を予め知つておく必要がないという利点がある。

【0192】（第21の実施形態）本実施形態では、非同期サンプリングを行つて平均Q値評価を行うために最適なサンプリング分解能、全サンプリング数、光バンドパスフィルタ帯域、および測定可能領域について数値計算を用いて設計する例を示す。図52はビットレートB

$\text{bit}/\text{s}$ のNRZ光信号について平均Q値評価を8回繰り返した場合の標準偏差値（縦軸）と、平均Q値評価に用いたデータ数（横軸）との関係を示す。Alphaの値は0.3、光バンドパスフィルタは $4 \times B \text{ Hz}$ 、受光系の帯域は $0.7 \times B \text{ Hz}$ 、サンプル分解能が $1/256 \times 1/\text{Bs}$ のときの結果であり、BERが $10^{-10}$ に相当するSNRの場合について評価している。グラフから解るように、標準偏差0.18以下（これは上記の条件のときに、BERに換算して最大 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ のばらつきに相当する）を必須条件とすれば、必要な全サンプリング数は約15000ポイントとなる。

【0193】図53の(a), 53の(b)は、図52と同じ条件で、全サンプリング数を16384ポイントとし、横軸をサンプリング分解能、縦軸を8回測定の標準偏差（図53の(a)）または平均値（図53の(b)）とした場合のグラフである。図53の(a)で、標準偏差0.18以下を実現するのに必要な分解能は約 $20 \text{ ps}$ であるが、図53の(b)に示すように、平均Q値のざれを考慮すれば、必要な分解能は約 $10 \text{ ps}$ 以下となる。

【0194】図54の(a)は、B  $\text{bit}/\text{s}$  NRZ光信号について平均Q値とQ値の関係をプロットしたグラフであり、Alphaの値は0.3、受光系の帯域は $0.7 \times B \text{ Hz}$ 、分解能が $1/256 \times 1/\text{Bs}$ 、サンプリング数16384ポイントで、光バンドフィルタ帯域を $4 \times B$ 、 $14 \times B$ 、 $24 \times B$ 、 $40 \times B \text{ Hz}$ と変化させた場合を示している。光バンドパスフィルタ帯域が大きくなるほど傾きが増加しており、BERの変化に対する平均Q値の変化の感度が大きくなっていることがわかる。図54の(b)は、傾きと光バンドパスフィルタ帯域の関係を示す。これを光バンドパスフィルタ帯域設定の目安とすることができます。

【0195】（他の実施の形態）なお、本発明の目的は、前述した実施の形態の機能を実現するソフトウェア

\*求めた平均値 $m_1$ 、 $m_0$ と標準偏差 $s_1$ 、 $s_0$ から

…(10)

のプログラムコードを記憶した記憶媒体を、システムあるいは装置に供給し、そのシステムあるいは装置のコンピュータ（またはCPUやMPU）が記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出し、実行することによって、達成されることは言うまでもない。この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施の形態の機能を実現することになり、そのプログラムコードを記憶した記憶媒体は本発明を構成することになる。そのプログラムコードを記憶し、またテーブル等の変数データを記憶する記憶媒体としては、例えばフロッピディスク、ハードディスクなどを用いことができる。

【0196】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、信号ビットレート、信号形式および変調形式によらず単一の回路で雑音劣化や波形歪みなどの光信号品質劣化を監視する手法を、光波長分割分離手段を用いることにより、N波長の光波長分割多重信号に拡張したものであり、光信号強度分布を基に光信号品質パラメータを評価する電気信号処理に波長依存性がないため、電気信号処理手段は1系統にでき、装置規模の小型化が得られる。

【0197】また、本発明によれば、被測定対象である光波長分割多重信号のビットレート、信号形式および変調形式によらず、単一の回路で雑音劣化や波形歪みなどの光信号品質劣化を監視できる。

【0198】また、本発明では、非線形光学媒質を使用した場合、各非線形光学媒質はそれぞれ入射する光信号の波長に適用できれば良く、広波長帯域性は要求されない。また、それら非線形光学媒質は全体としてすべての光信号波長に適用できねばならない（広波長帯域性）が、光合波手段、非線形光学媒質、光電変換手段の数が一つでよいので構成が簡易化できる。

【0199】また、本発明では、光サンプリング法を用いることで、電気サンプリングを用いる方法に比べて適用できる光信号ビットレートが広範囲となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来の第1例の光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図2】従来の第2例の光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図3】従来の第3例の光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図4】従来の第4例の光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図5】従来の第5例の光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図6】従来の第6例の光波長分割多重信号モニタ装置

の構成を示すブロック図である。

【図7】本発明の第1の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図8】本発明の第2の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第3の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図10】本発明の第4の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図11】本発明の第5の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図12】本発明の第6の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図13】本発明の第6の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置に備える電気信号処理部で測定される光強度ヒストグラムのレベル測定法の一例を説明する図である。

【図14】本発明の第6の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置に備える光ゲート部の第1の構成例を示すブロック図である。

【図15】本発明の第6の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置に備える光ゲート部の第2の構成例を示すブロック図である。

【図16】本発明の第7の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図17】本発明の第8の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図18】本発明の第9の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図19】本発明の第10の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図20】本発明の第11の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図21】本発明の第12の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図22】本発明の第13の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図23】本発明の第14の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図24】本発明の第15の実施形態における光波長分割多重信号モニタ装置の構成を示すブロック図である。

【図25】本発明の第16の実施形態の光ネットワークの構成を示すブロック図で、(A)は予備回線を備えるリング構成の光ネットワークであり、(B)はメッシュ構成の光ネットワークである。

【図26】本発明の第16の実施形態における光送受信端局104内の構成例を示すブロック図である。

【図27】本発明の第16の実施形態の光信号モニタシステムにおける経路制御の動作手順を示すフローチャートである。

【図28】本発明の各実施形態において、電気サンプリングオシロスコープを用いる場合の信号対雑音比係数測定部の構成例を示すブロック図である。

【図29】本発明の各実施形態において、光サンプリングオシロスコープを用いる場合の信号対雑音比係数測定部の構成例を示すブロック図である。

【図30】本発明の第16の実施形態における信号対雑音比係数測定アルゴリズムの最初の段階を示す概念図である。

10 【図31】図30に続く本発明の第16の実施形態における信号対雑音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図32】図31に続く本発明の第16の実施形態における信号対雑音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図33】図32に続く本発明の第16の実施形態における信号対雑音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

20 【図34】図30～図33に示すような手順で得られた信号対雑音比係数の実験データ例を示すグラフで、横軸が測定したビット誤り率から換算したQ値であり、縦軸が図30～図33のアルゴリズムで求めた信号対雑音比係数である。

【図35】波長分散の影響がある場合の実験データ例を示すグラフで、横軸が測定したビット誤り率から換算したQ値であり、縦軸が図30～図33のアルゴリズムで求めた信号対雑音比係数である。

30 【図36】本発明の第17の実施形態の光ネットワークの構成を示すブロック図で、(A)は予備回線を備えるリング構成の光ネットワークであり、(B)はメッシュ構成の光ネットワークである。

【図37】本発明の第17の実施形態における送受信端局の内部構成を示すブロック図である。

【図38】図37の光増幅中継系の内部構成を示すブロック図である。

【図39】本発明の第17の実施形態の光信号モニタシステムにおける障害区間同定と経路制御の動作手順を示すフローチャートである。

40 【図40】本発明の第18の実施形態における信号対雑音比係数測定アルゴリズムの最初の段階を示す概念図である。

【図41】図40に続く本発明の第18の実施形態における信号対雑音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図42】図41に続く本発明の第18の実施形態における信号対雑音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

50 【図43】図42に続く本発明の第18の実施形態における信号対雑音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図44】本発明の第19の実施形態における信号対雜音比係数測定アルゴリズムの最初の段階を示す概念図である。

【図45】図44に続く本発明の第19の実施形態における信号対雜音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図46】図45に続く本発明の第19の実施形態における信号対雜音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図47】図46に続く本発明の第19の実施形態における信号対雜音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図48】本発明の第20の実施形態における信号対雜音比係数測定アルゴリズムの最初の段階を示す概念図である。

【図49】(A)、(B)は図48の(A)、図48の(B)に続く本発明の第20の実施形態における信号対雜音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図50】図49に続く本発明の第20の実施形態における信号対雜音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図51】図50に続く本発明の第20の実施形態における信号対雜音比係数測定アルゴリズムを示す概念図である。

【図52】本発明の第21の実施形態におけるビットレートB bit/sのNRZ光信号について平均Q値評価を8回繰り返した場合の標準偏差値(縦軸)と、平均Q値評価に用いたデータ数(横軸)との関係を示すグラフである。

【図53】図52と同じ条件で、全サンプリング数を16384ポイントとし、横軸をサンプリング分解能、縦軸を8回測定の標準偏差(A)または平均値(B)とした場合のグラフである。

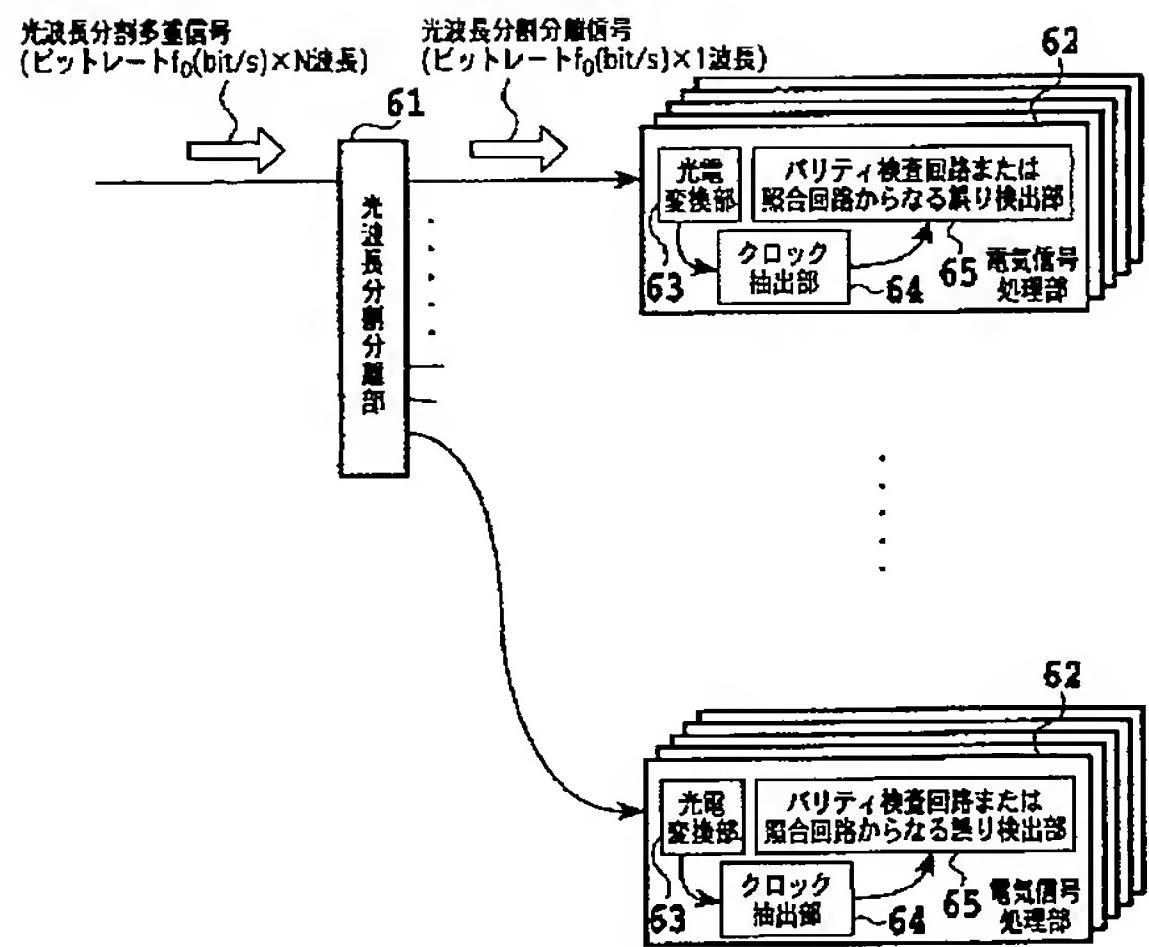
【図54】(a)は、本発明の第21の実施形態における、B bit/s NRZ光信号について平均Q値とQ値の関係をプロットしたグラフであり、(b)は、傾きと光バンドパスフィルタ帯域の関係を示すグラフである。

#### 【符号の説明】

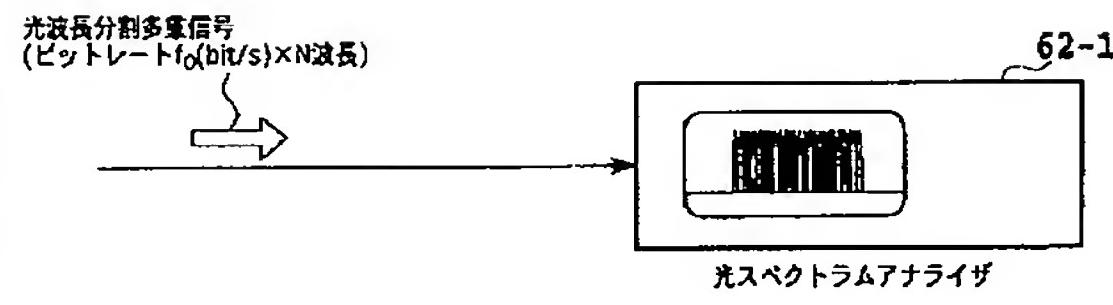
- 1 1 光波長分割分離部
- 1 5 光電変換部
- 1 7 サンプリングクロック発生部
- 1 9 電気信号処理部
- 2 1 サンプリング光パルス列発生部
- 2 2 サンプリング光パルス列分波部
- 2 3 光合波部
- 2 4 非線形光学媒質
- 2 5 光分波部
- 2 6 電気信号処理部
- 2 7 偏波制御部

- 2 8 波長分散制御部
- 3 1 光合波部
- 4 1 選択波長制御部
- 4 2 光波長選択部
- 1 0 2、5 0 2 光ノード
- 1 0 4、5 0 4 光信号送受信端局
- 1 0 8、5 0 8 現用回線
- 1 1 0、5 1 0 予備回線
- 1 1 2、5 1 2 光信号
- 10 1 9 1 切替部
- 1 9 2 電圧保持部
- 1 9 3 順次読み出し部
- 1 9 4 クロック分配部
- 1 9 5 データ処理部
- 1 7 1 光ゲート部
- 2 0 2、6 0 2 光信号送信端局
- 2 0 4、6 0 4 光送信器
- 2 0 6、6 0 6 経路切替部
- 2 0 8、6 0 8 スイッチ
- 20 2 1 0、6 1 0 モニタ情報制御部
- 2 1 2 伝送路
- 2 1 4 制御チャネル
- 2 1 6 光信号受信端局
- 2 1 8、7 1 8 光分岐器
- 2 2 0、7 2 0 光信号モニタ部
- 2 2 2、7 2 2 信号対雜音比係数測定部
- 2 2 4、7 2 4 初期状態記憶部
- 2 2 6、7 2 6 光信号品質評価部
- 2 2 8、7 2 8 モニタ情報制御部
- 30 2 3 0 光受信器
- 4 0 2 光電変換部
- 4 0 4 電気サンプリングオシロスコープ
- 4 0 6、4 1 6 信号処理部
- 4 0 8、4 1 8 ヒストグラム評価部
- 4 1 0、4 2 0 信号対雜音比係数評価部
- 4 1 4 光サンプリングオシロスコープ
- 5 0 6 光増幅中継系
- 6 1 2 障害区間同定部
- 7 1 6 光増幅器
- 40 1 7 1 1 コムジェネレータ
- 1 7 1 2 バイアスT
- 1 7 1 3 直流電源
- 1 7 1 4 電界吸収型光変調器
- 1 7 2 1 コムジェネレータ
- 1 7 2 2 バイアスT
- 1 7 2 4 位相調整装置
- 1 7 2 5 第1の電界吸収型光変調器
- 1 7 2 6 第2の電界吸収型光変調器

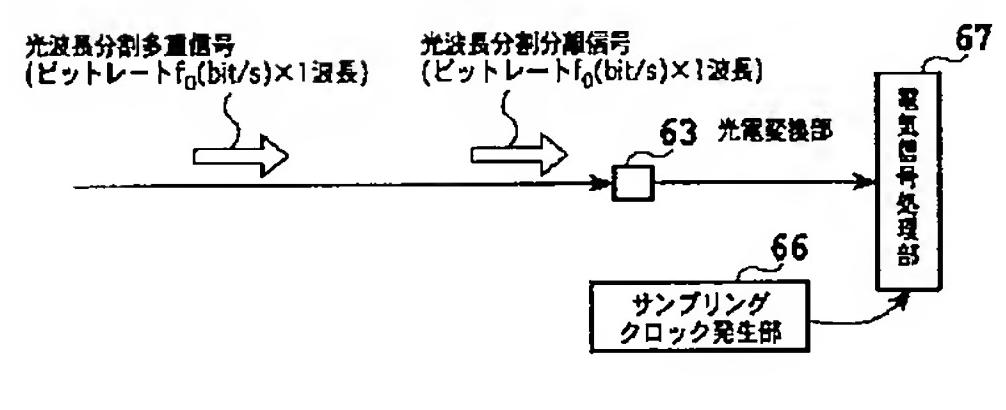
【図1】



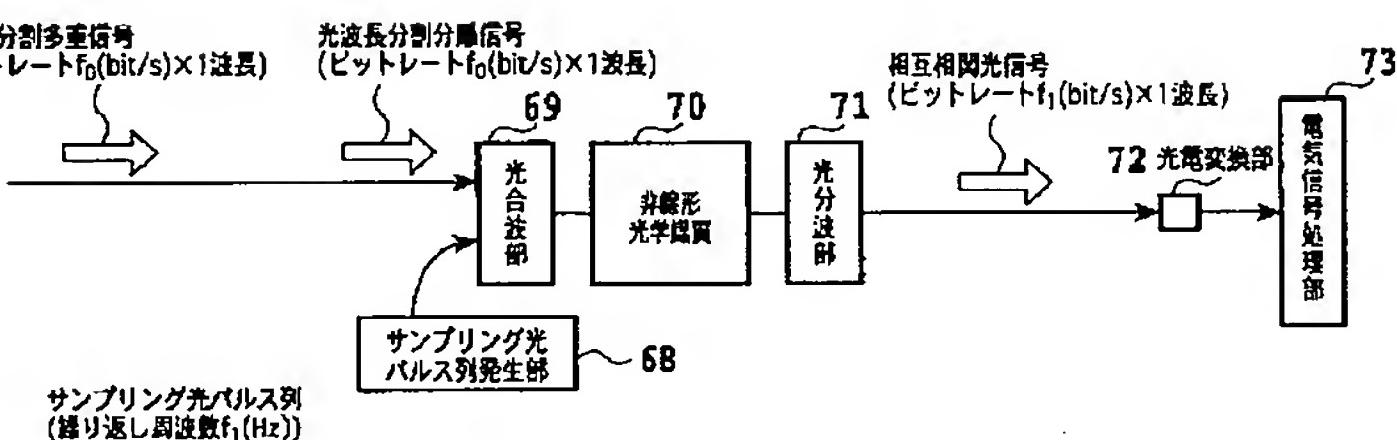
【図2】



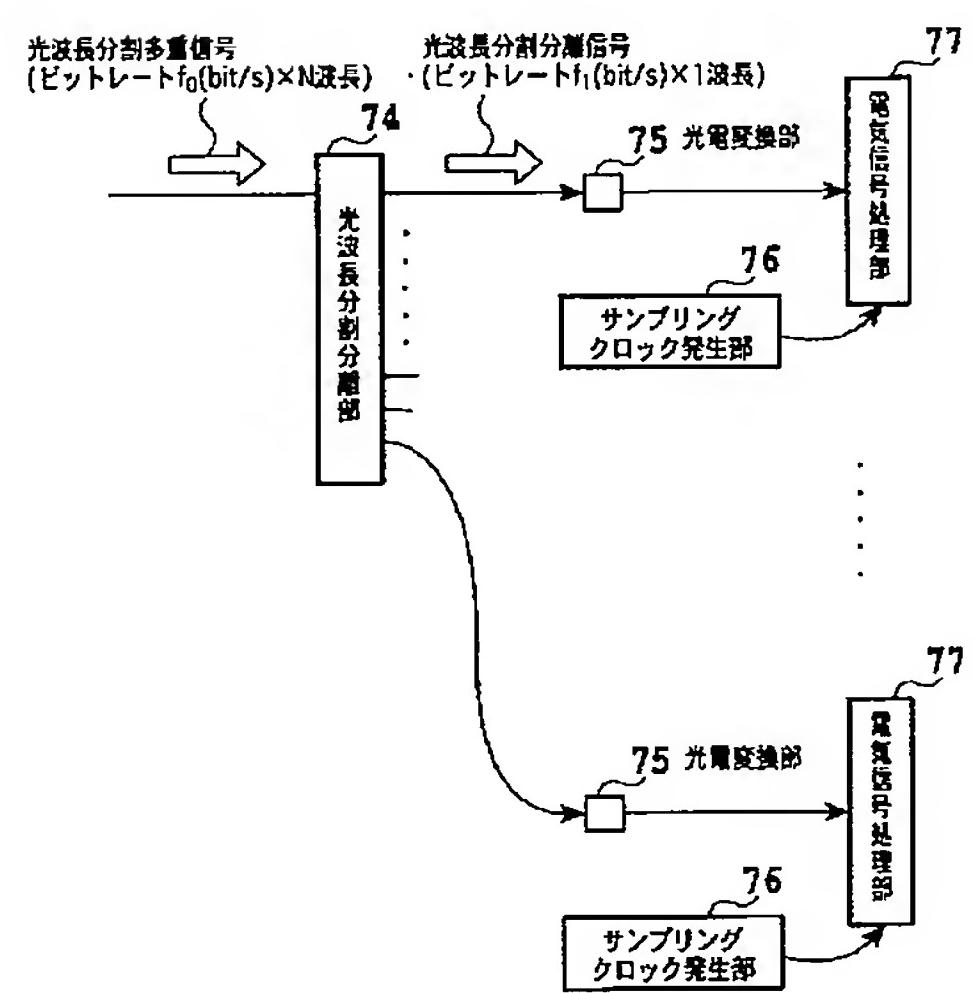
【図3】



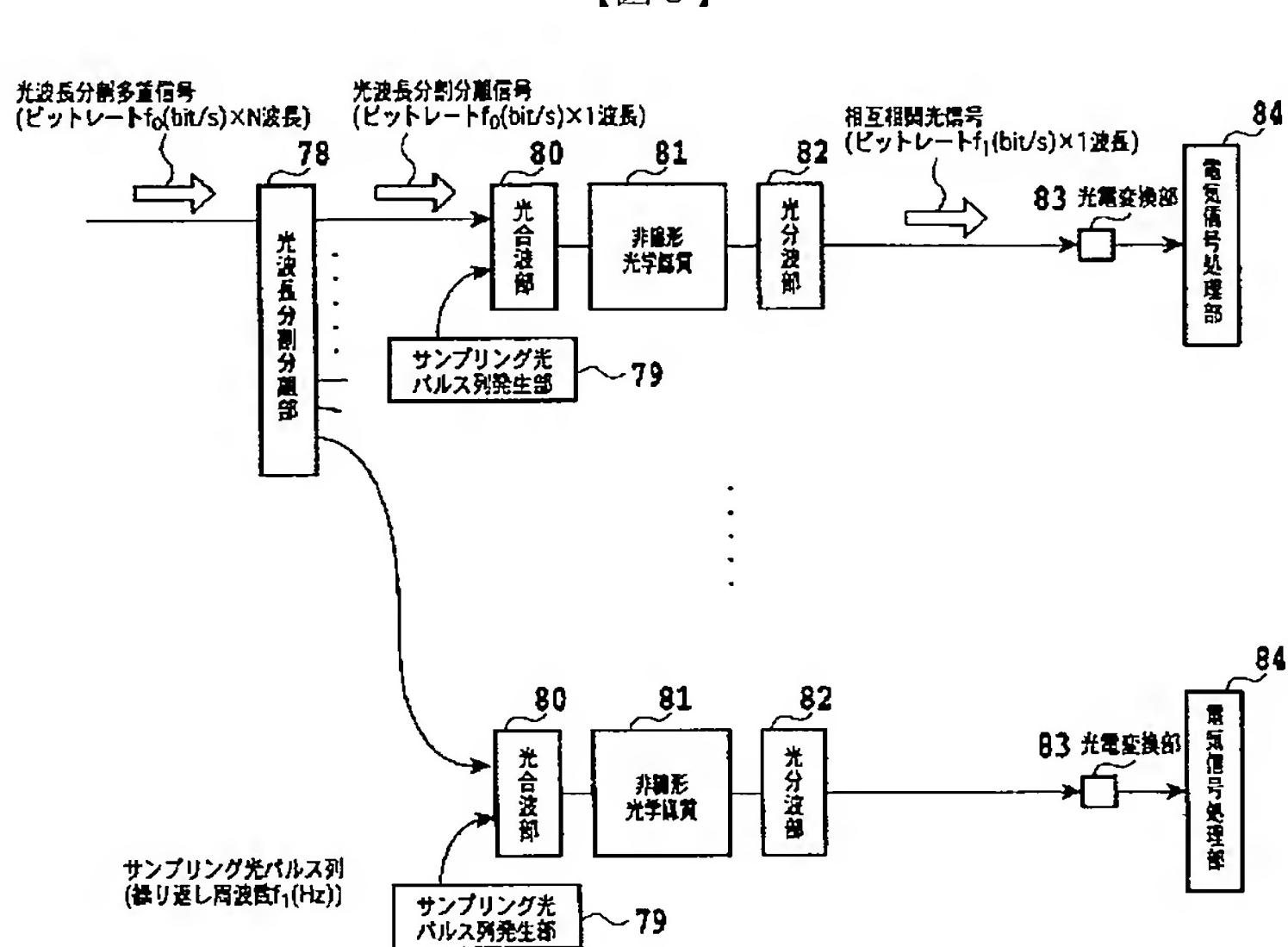
【図4】



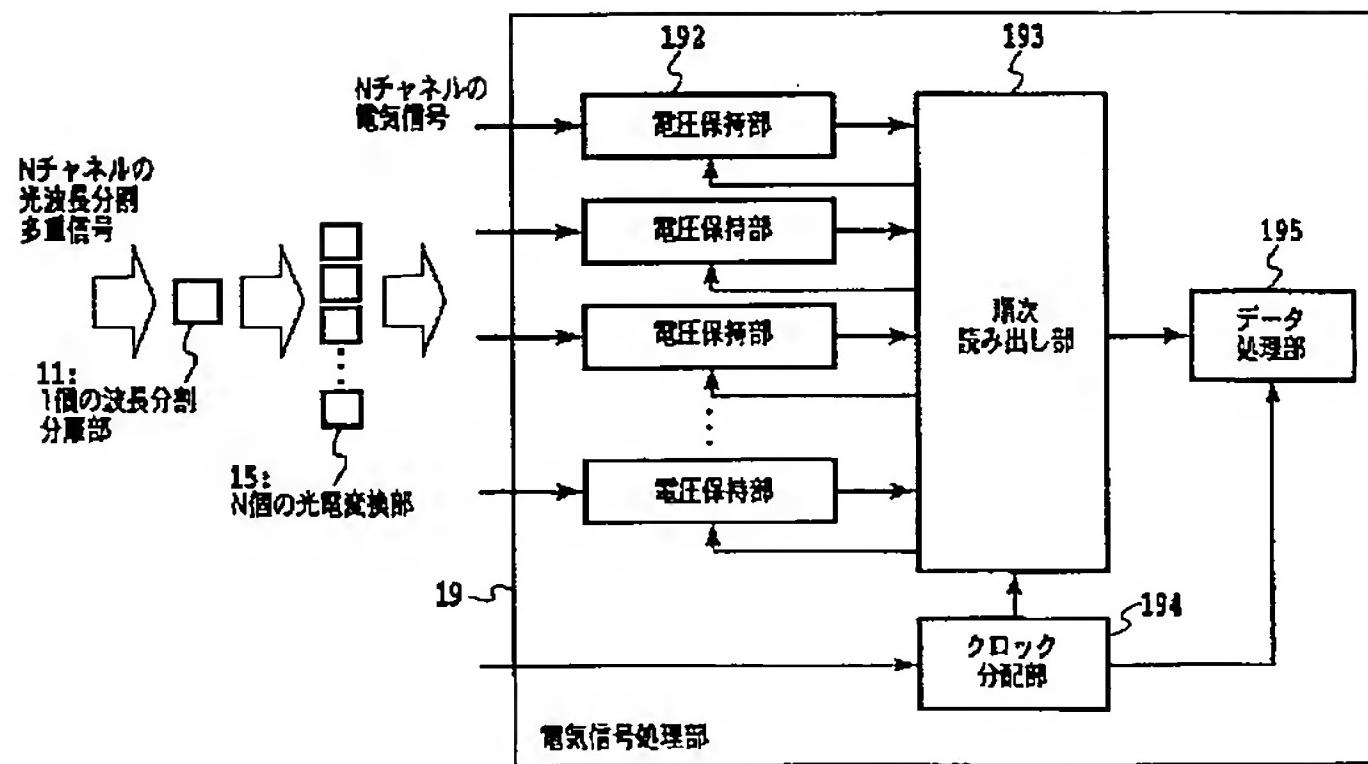
【図5】



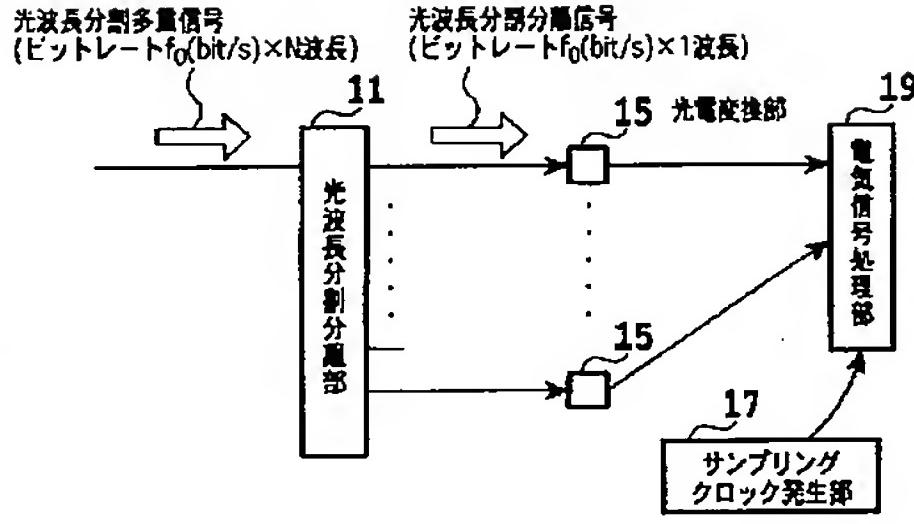
【図6】



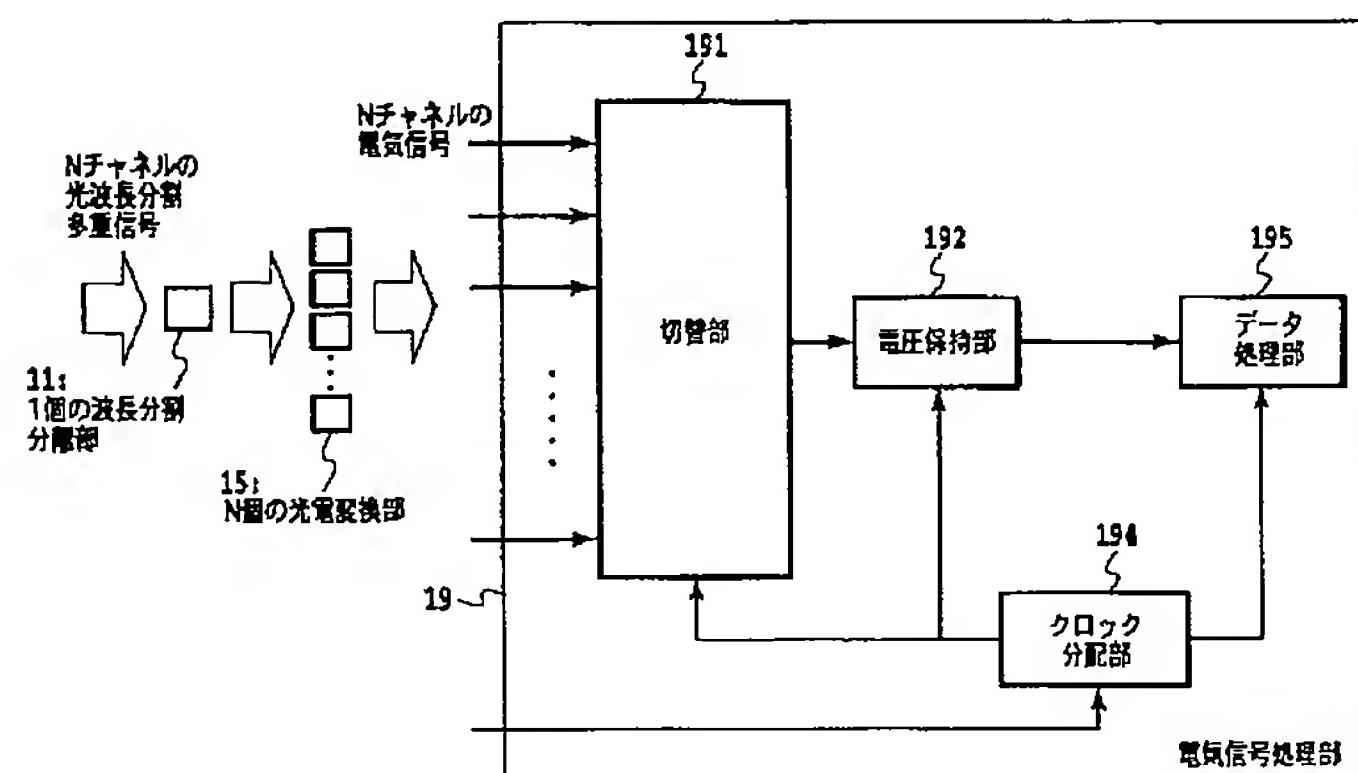
【図7】



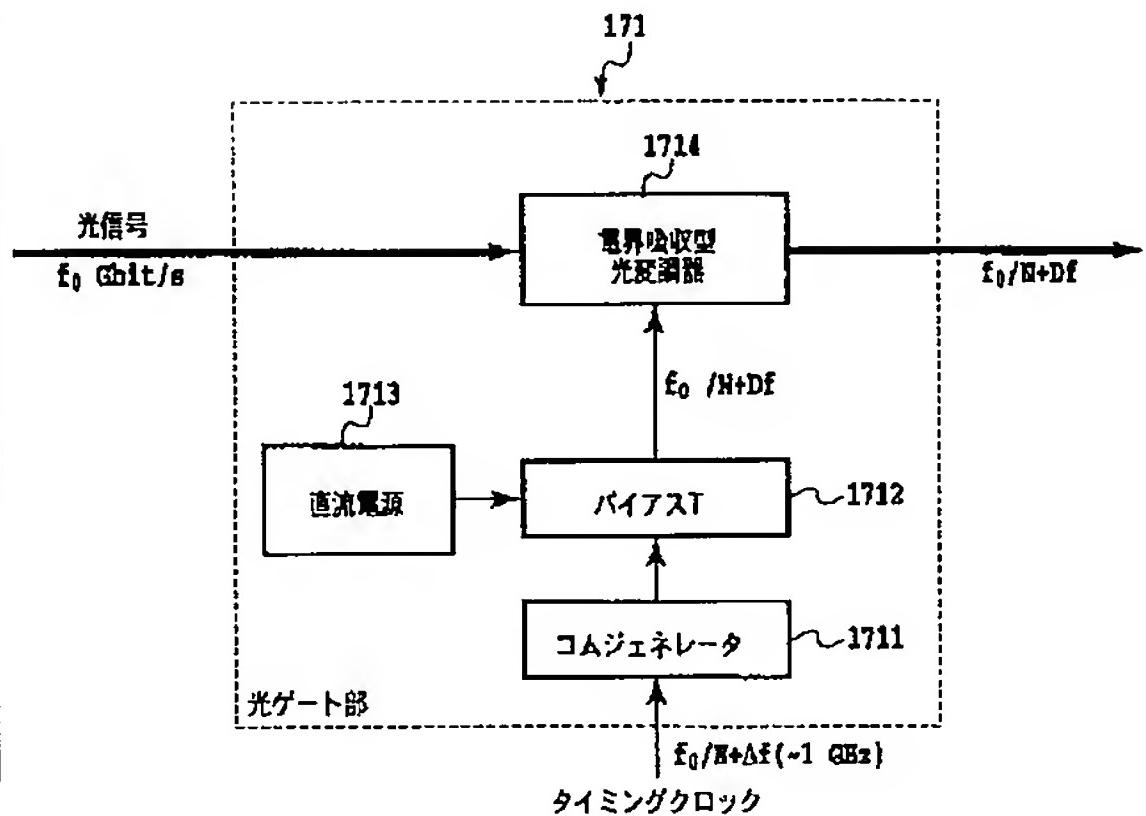
【図10】



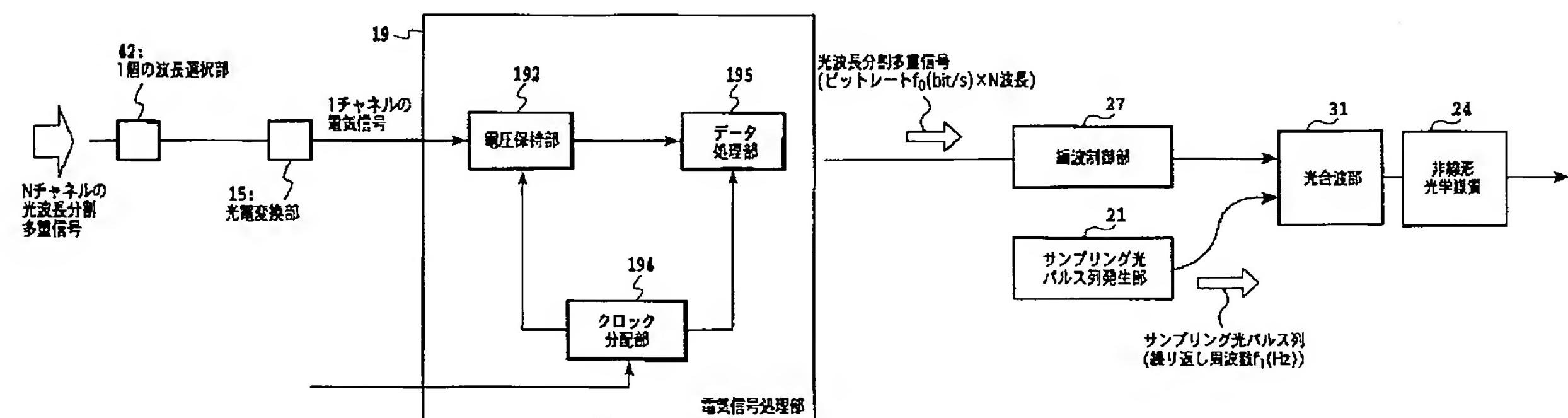
【図8】



【図14】

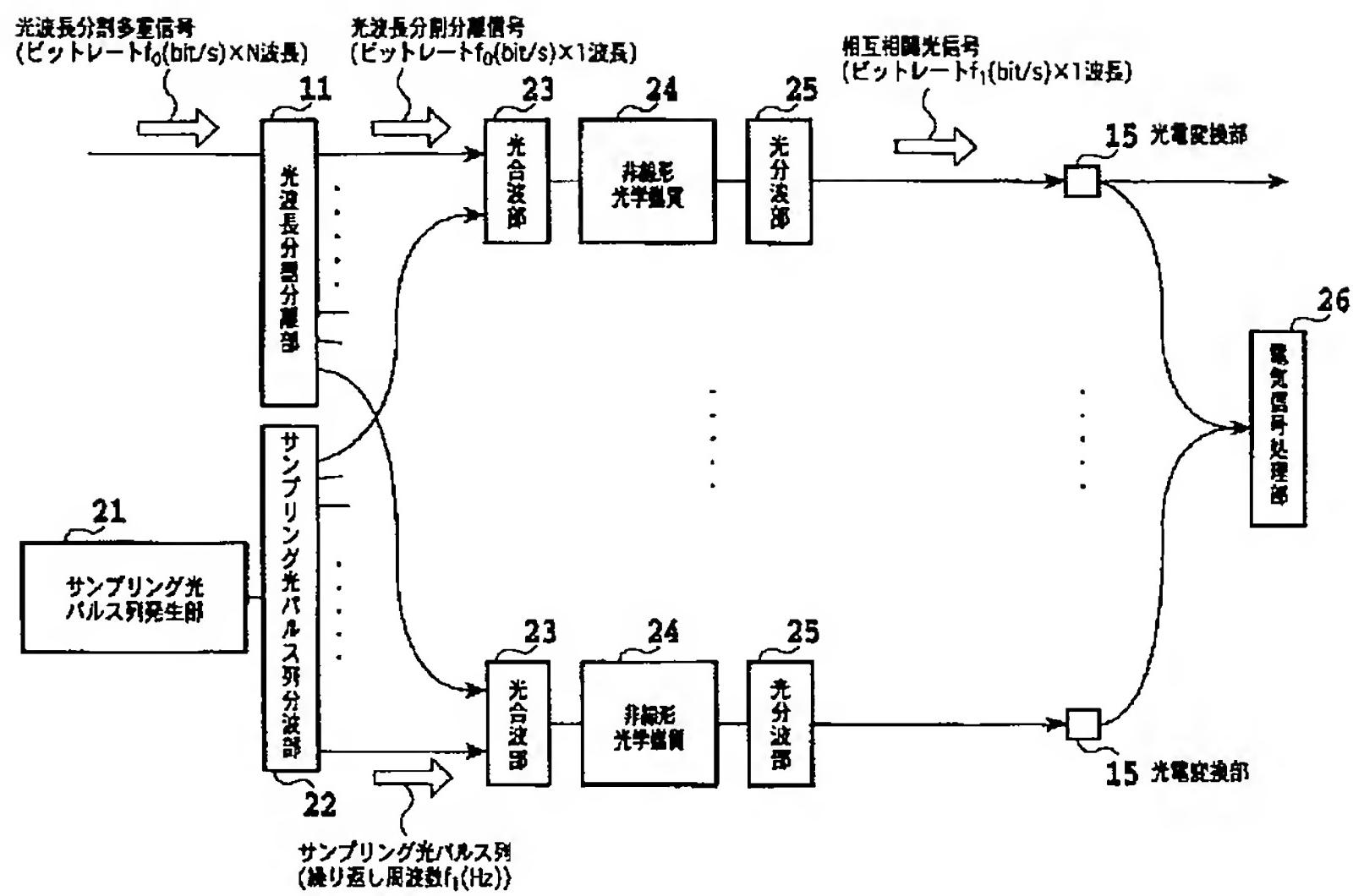


【図9】

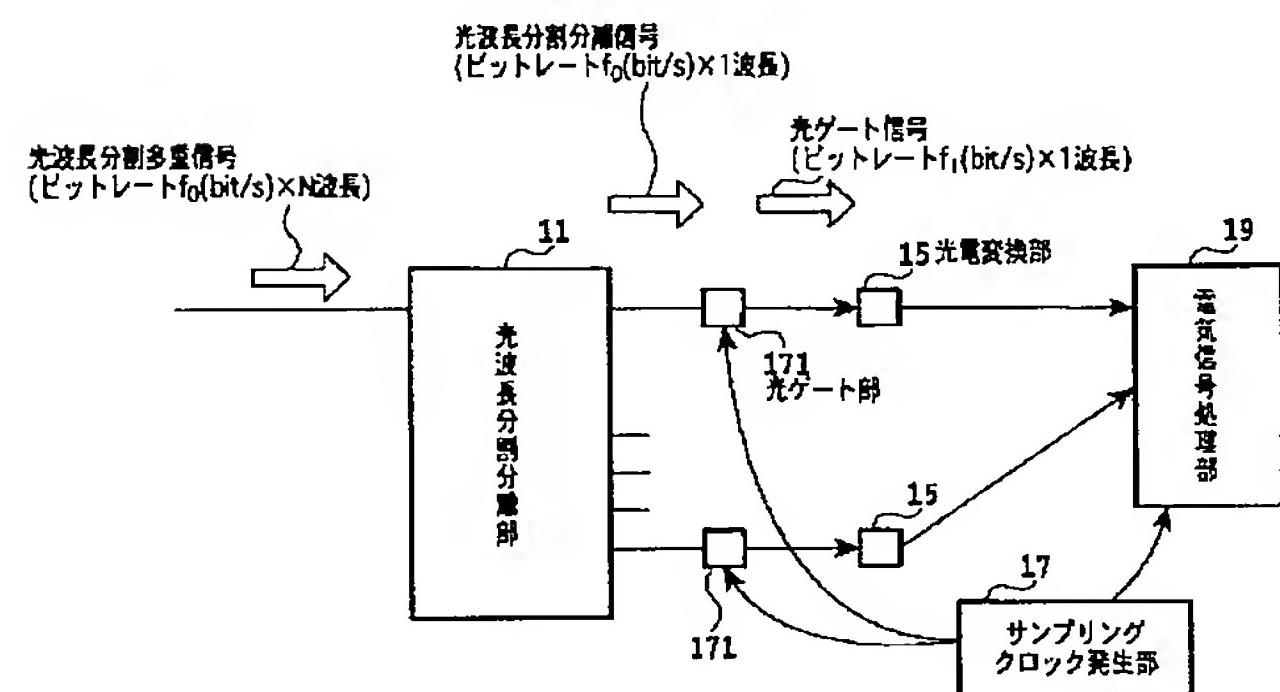


【図23】

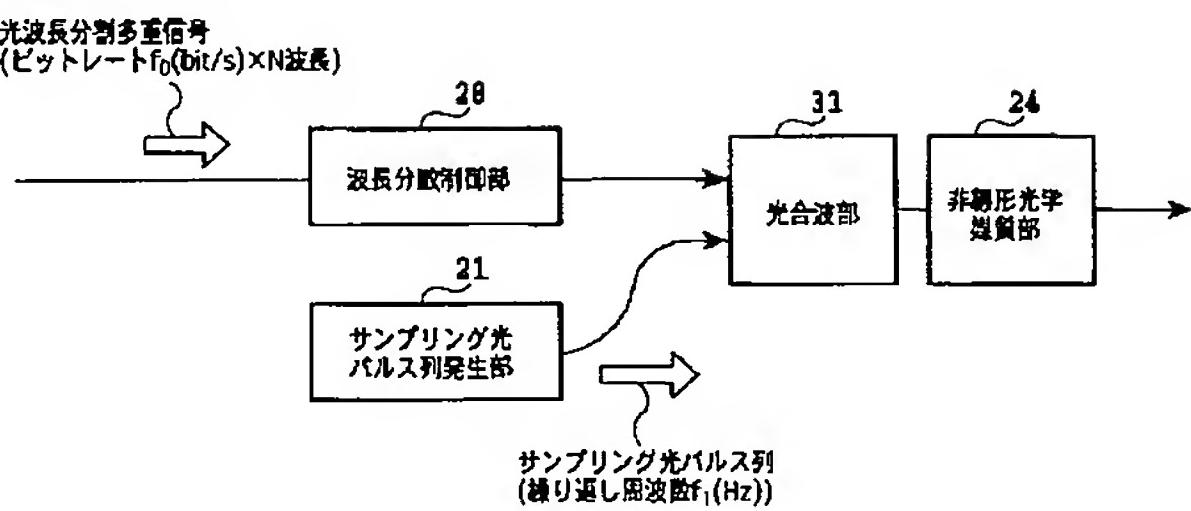
【図11】



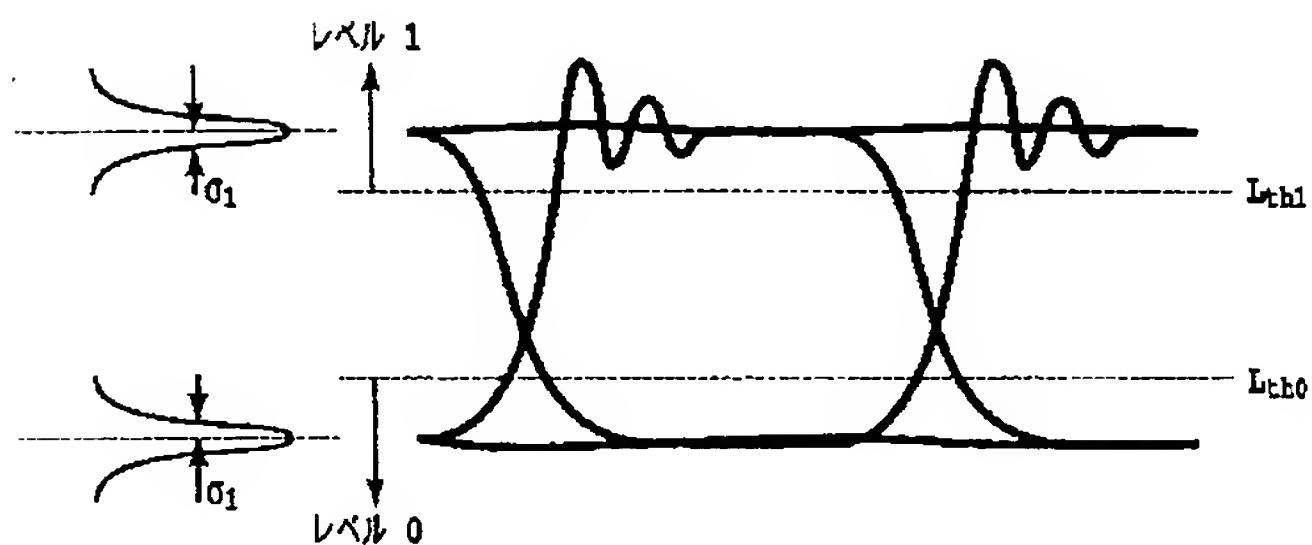
【図12】



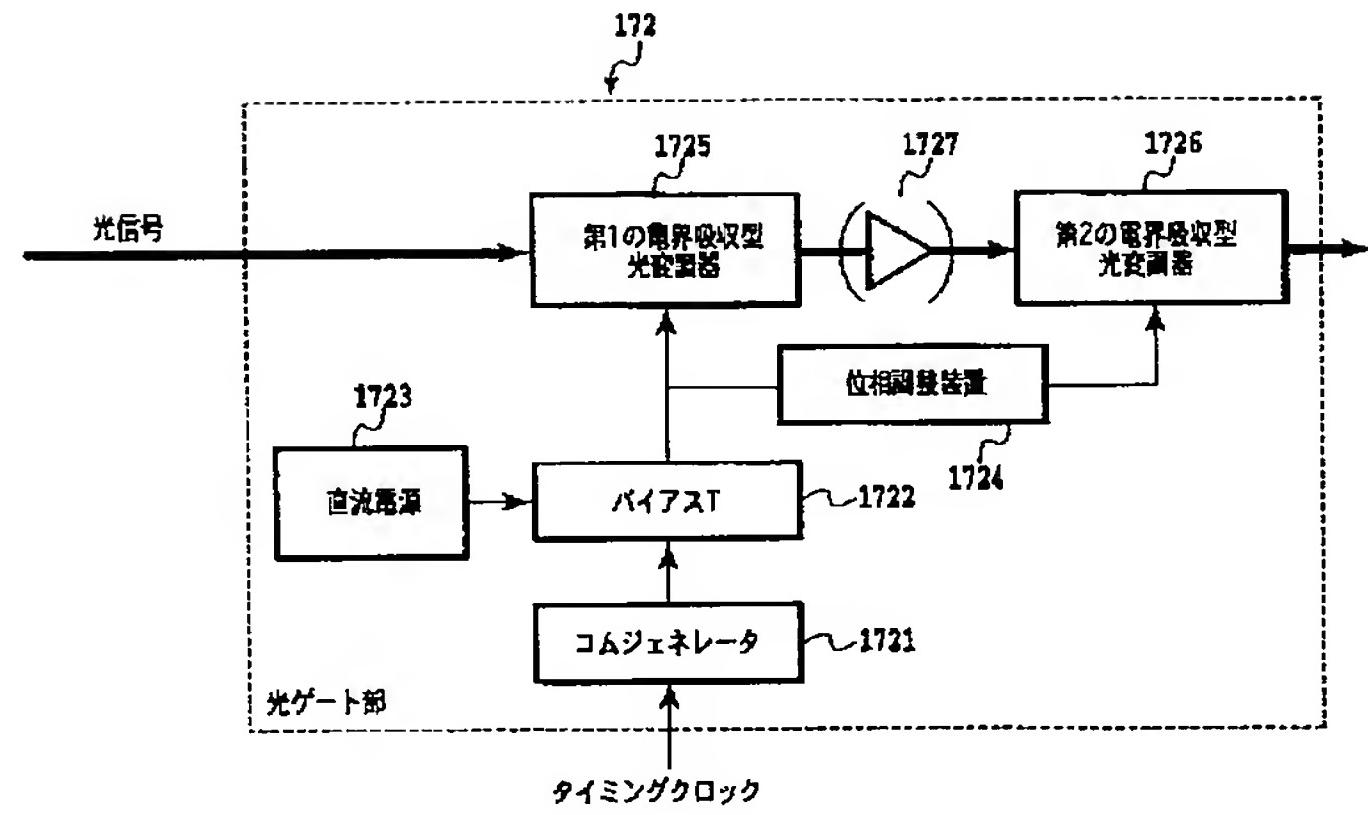
【図24】



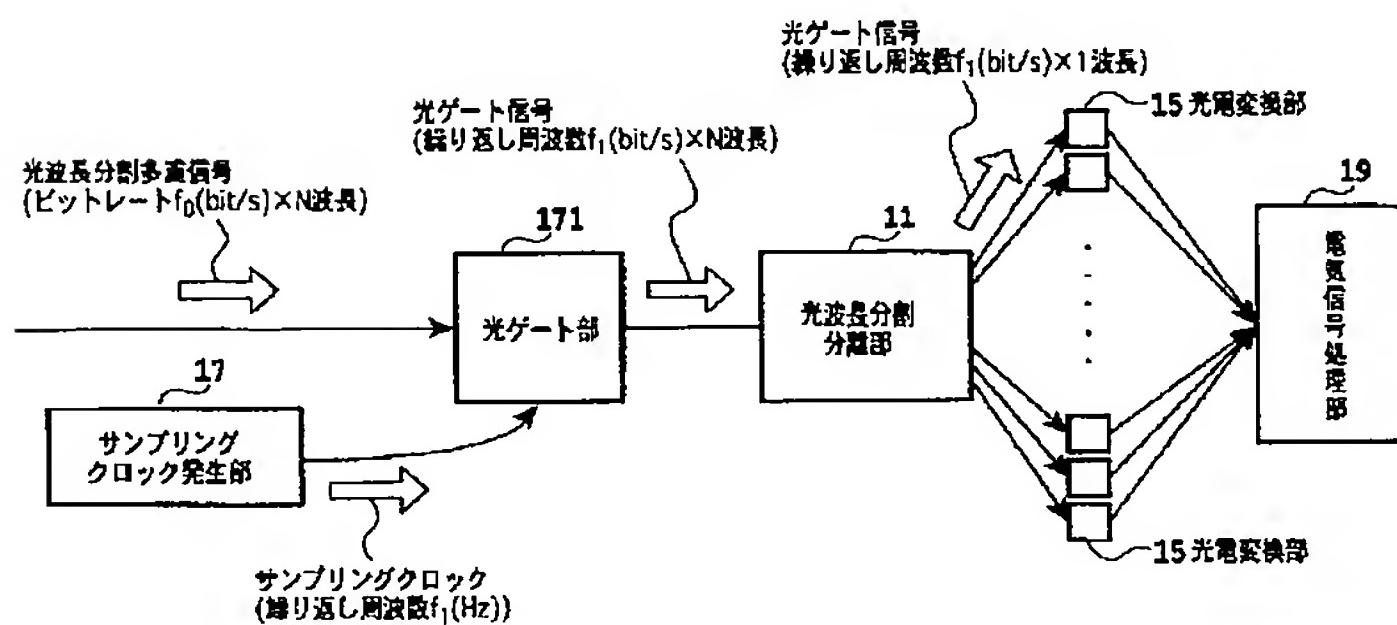
【図13】



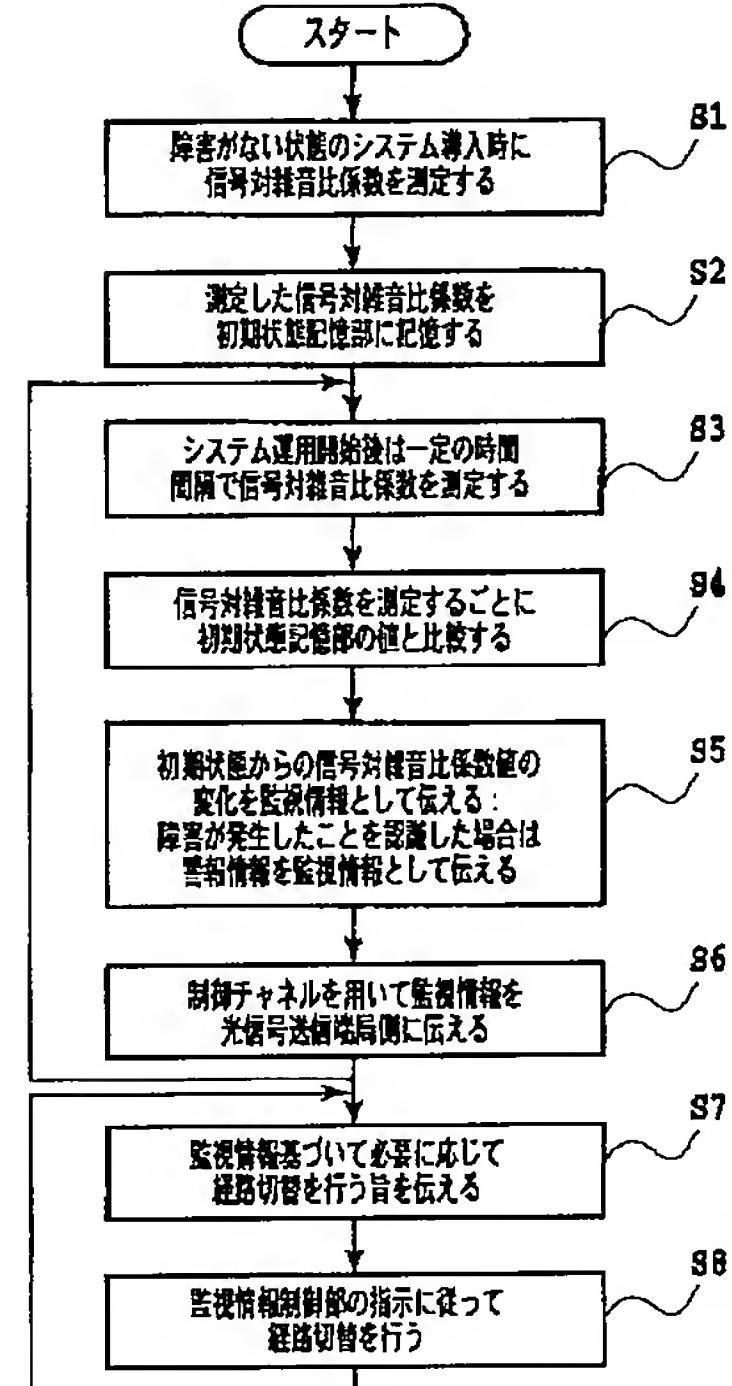
【図15】



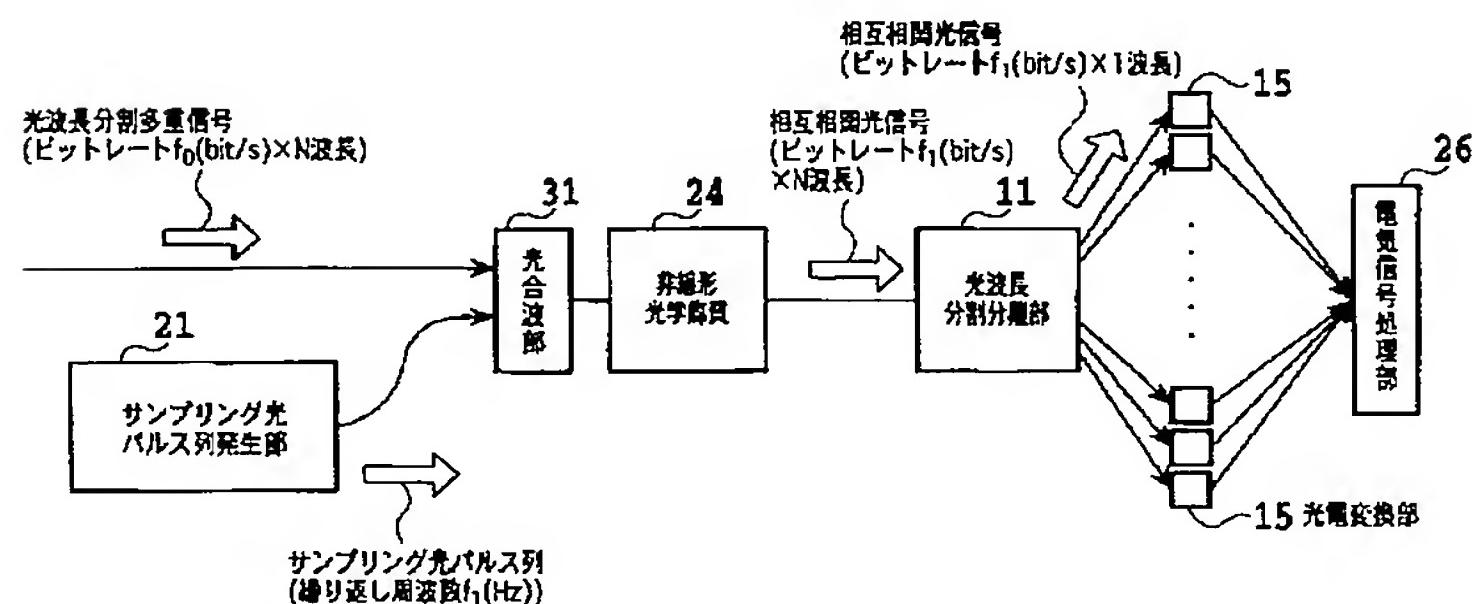
【図16】



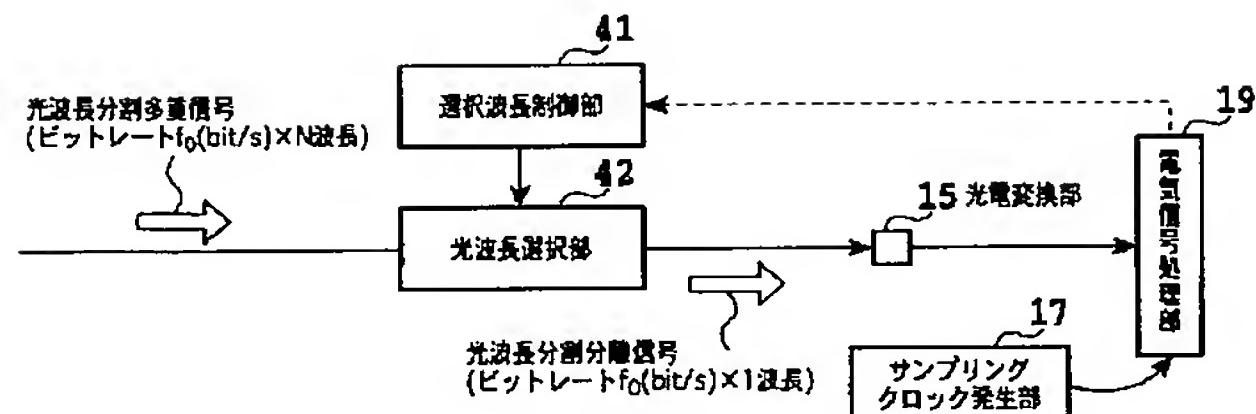
【図27】



【図17】

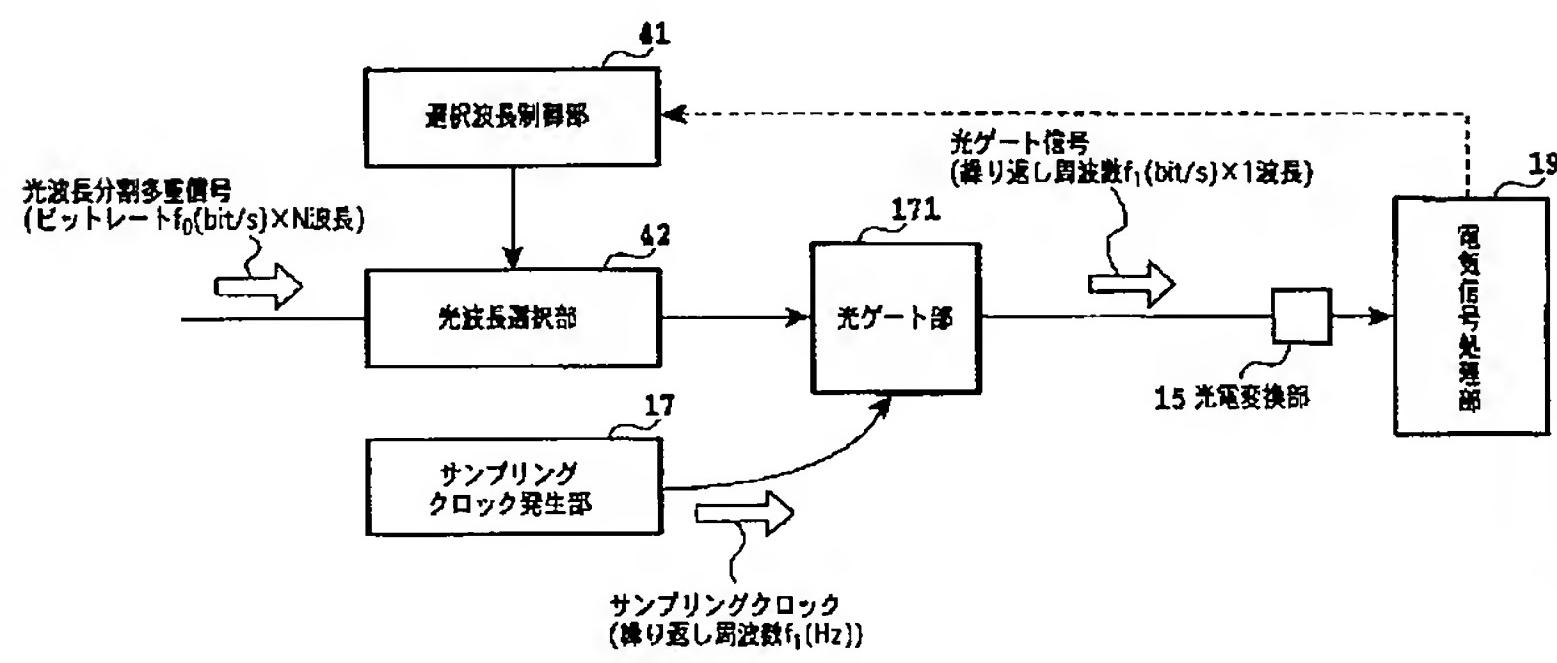
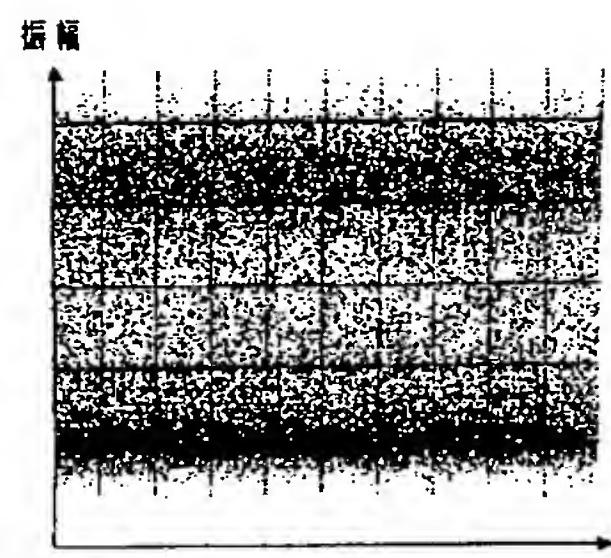


【図18】



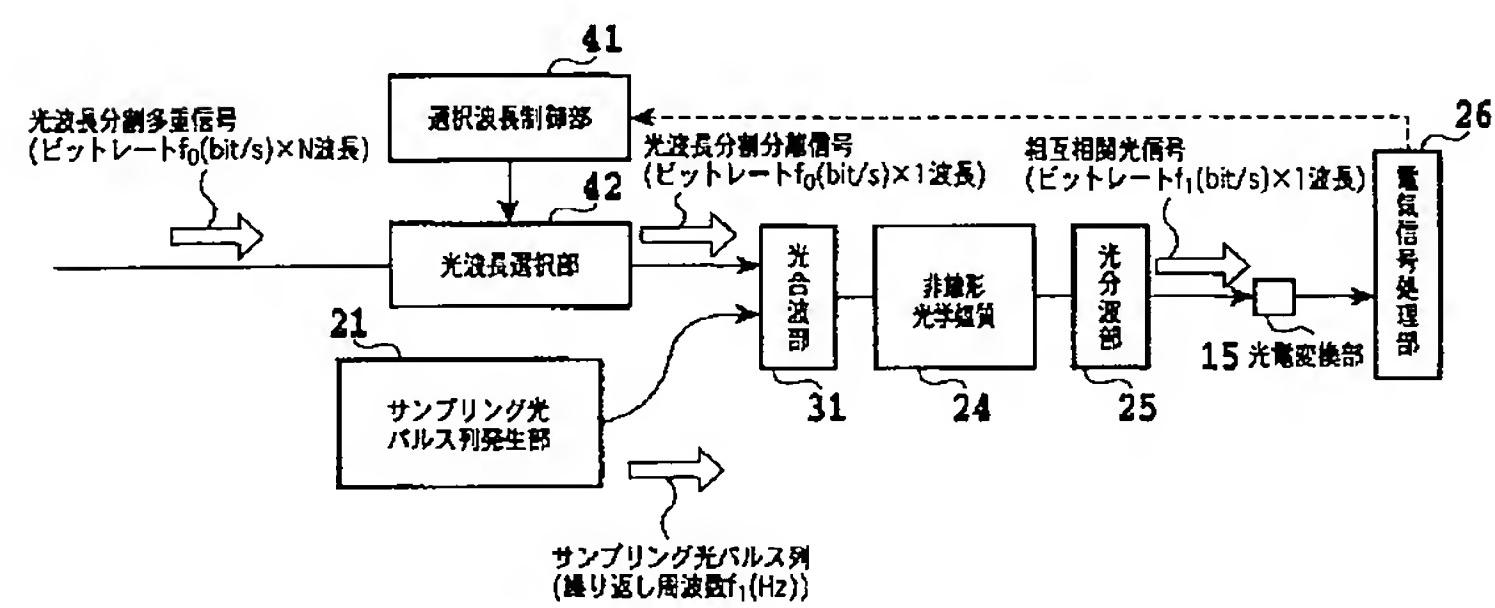
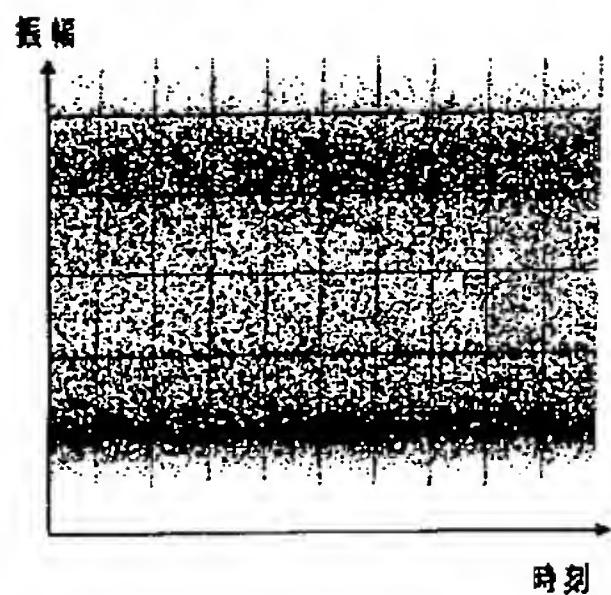
【図19】

(A)

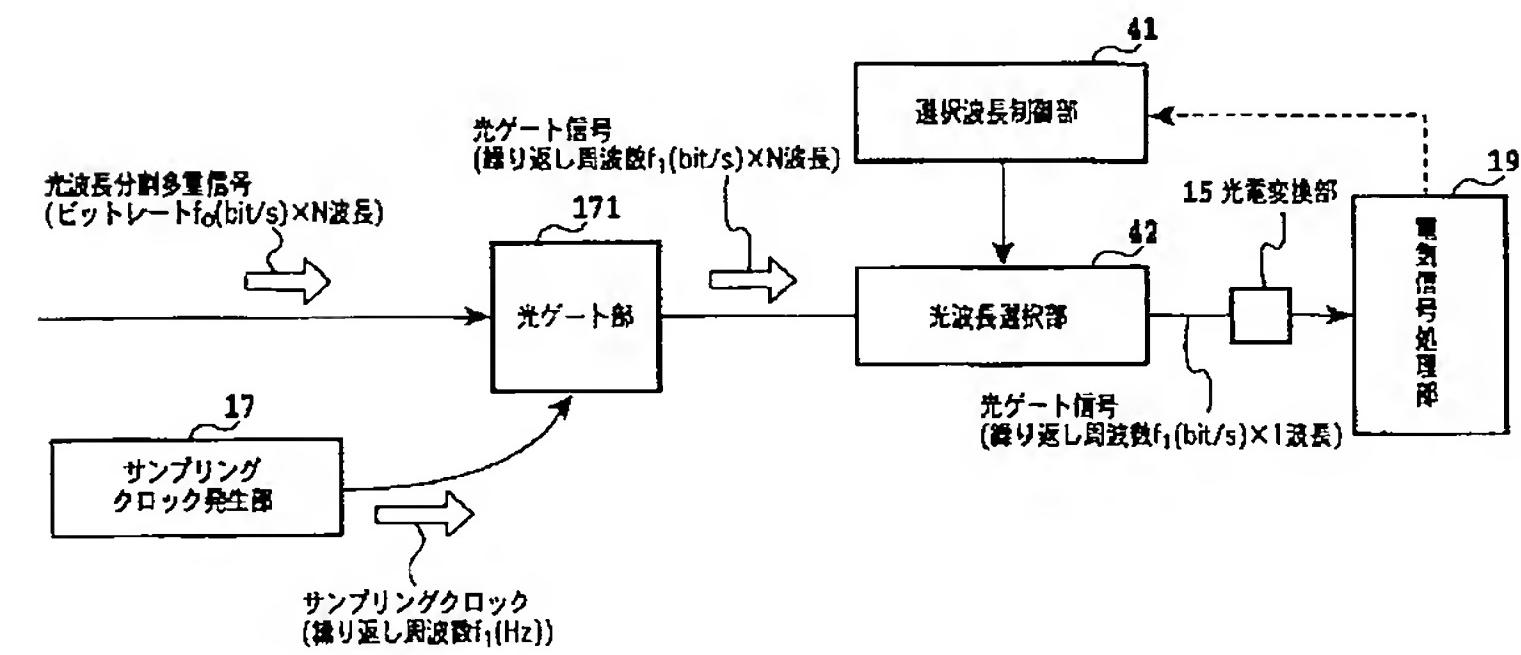


【図20】

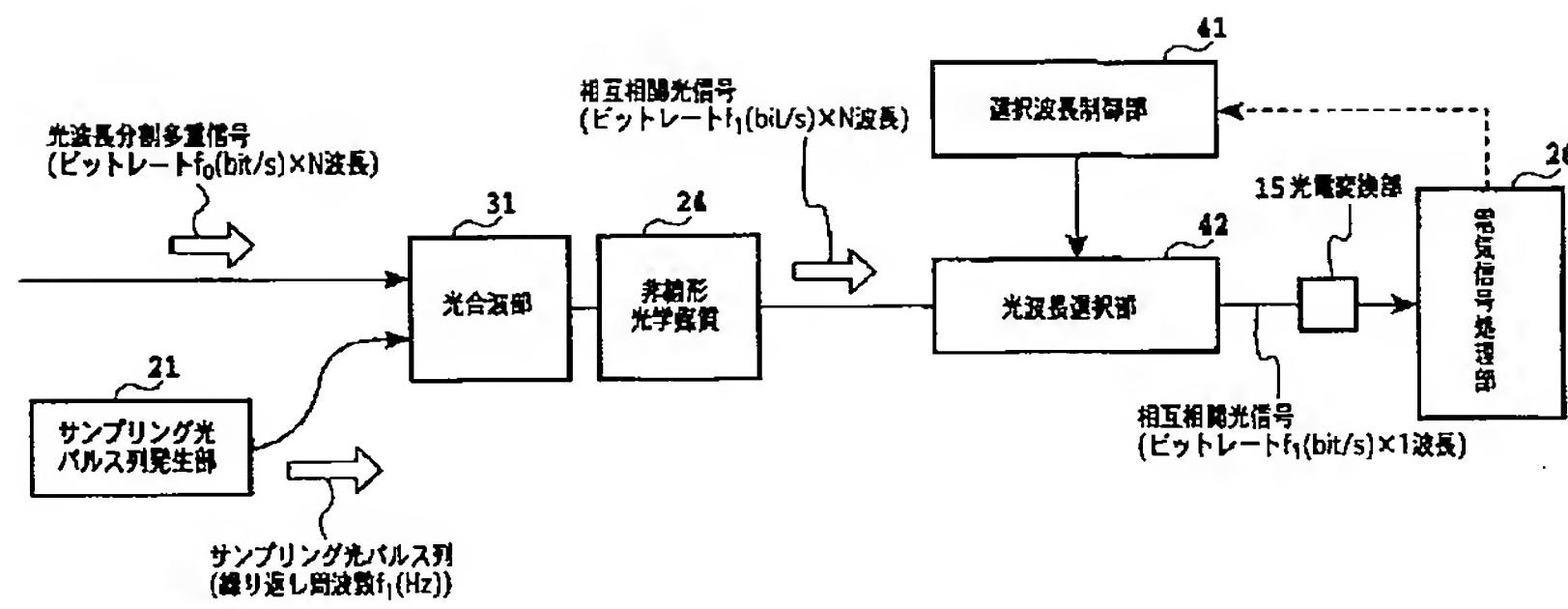
(B)



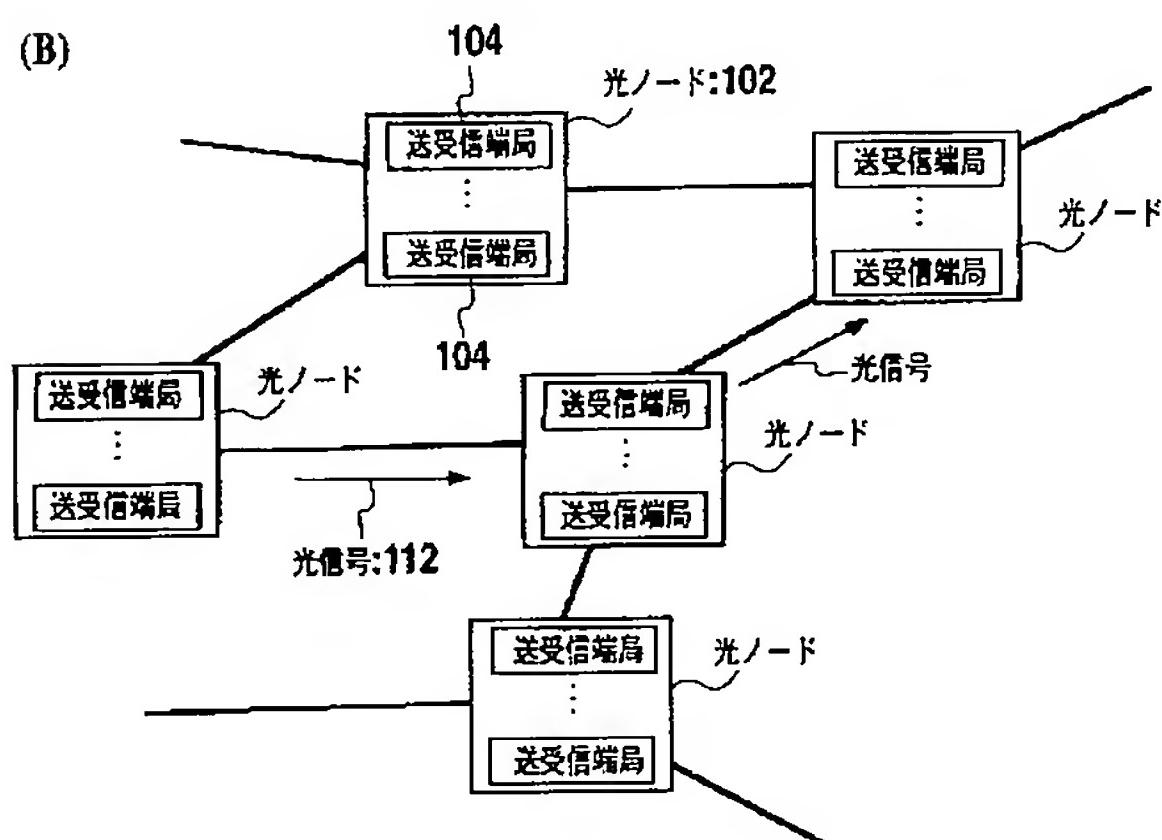
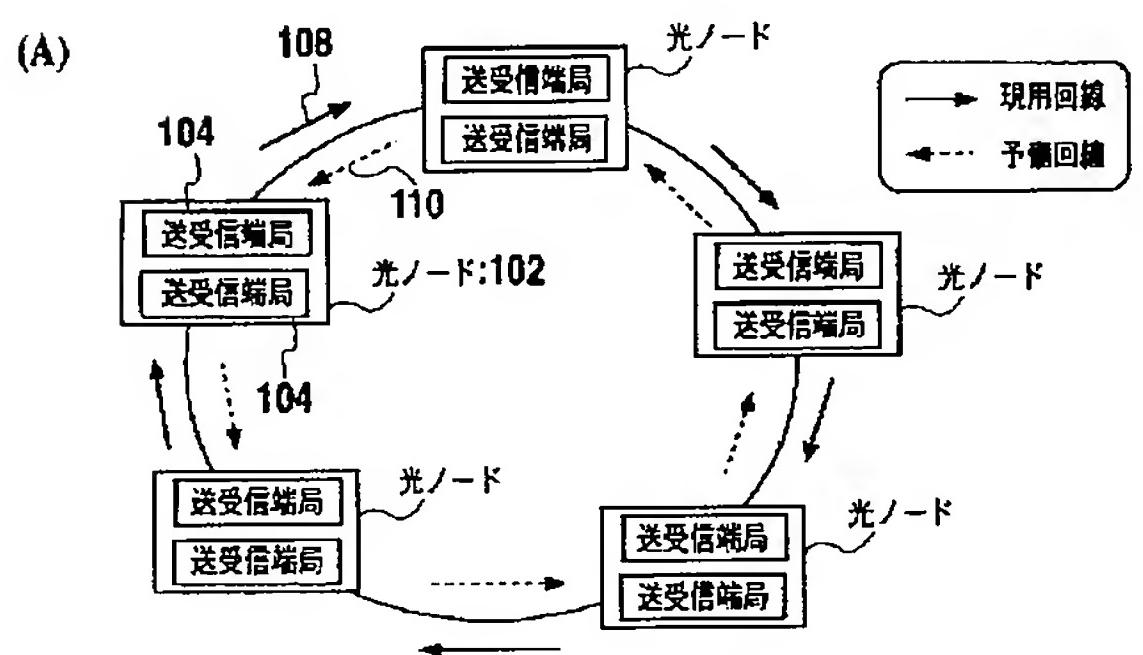
【図21】



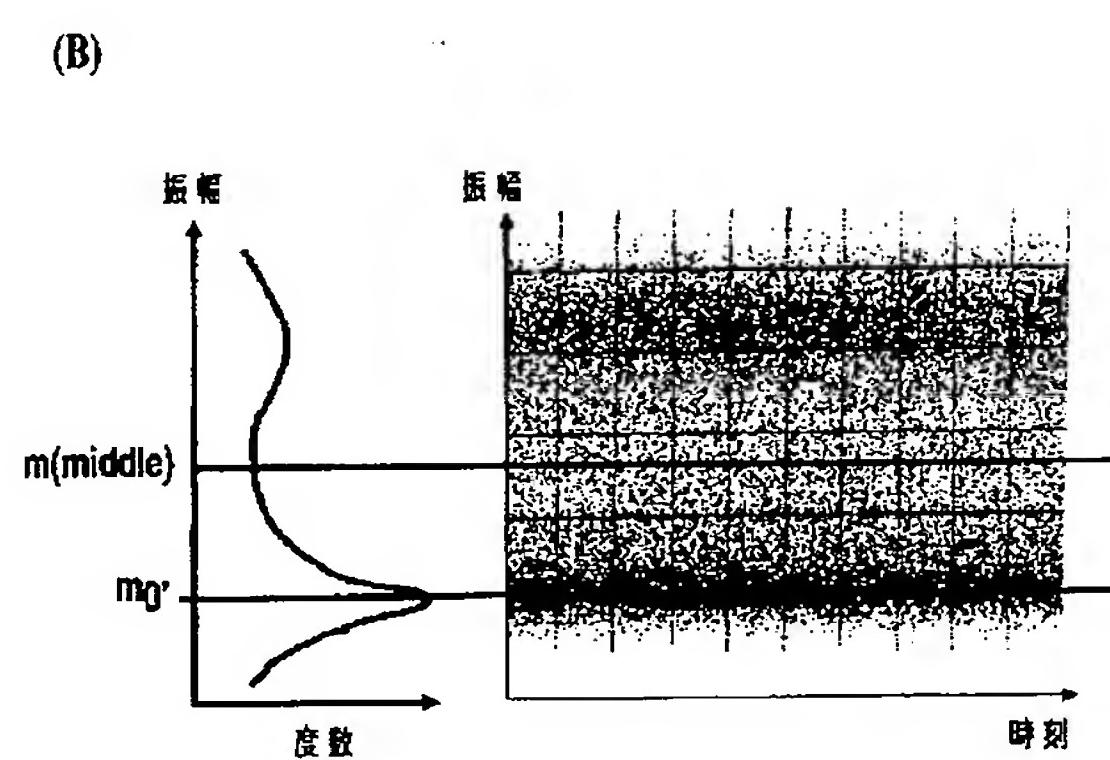
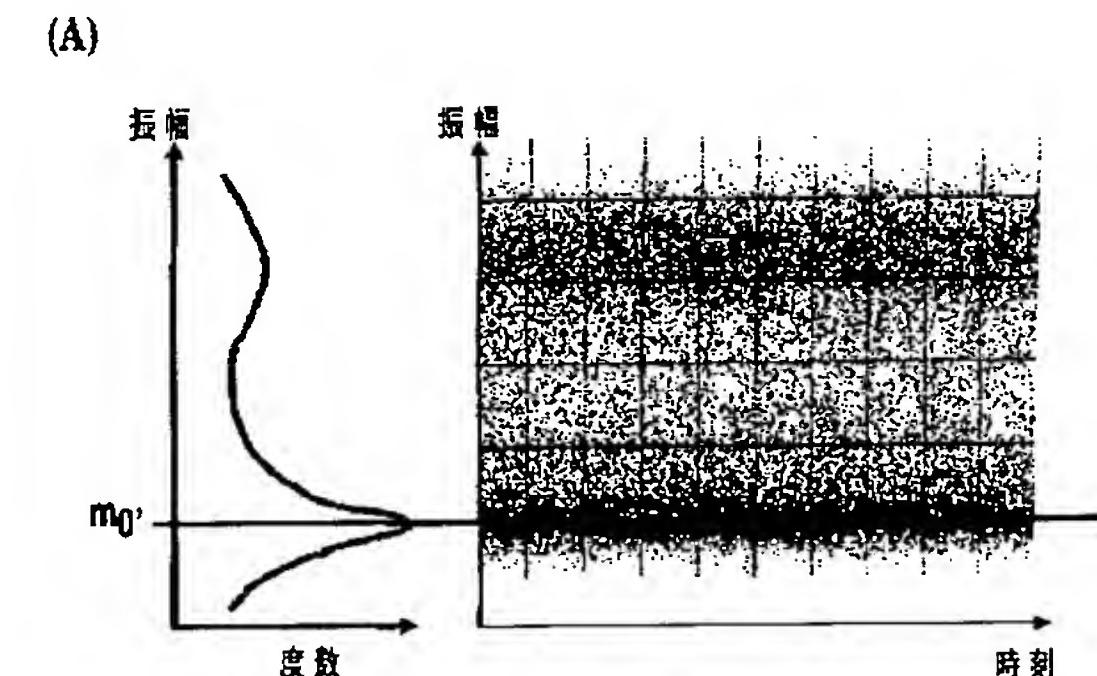
【図22】



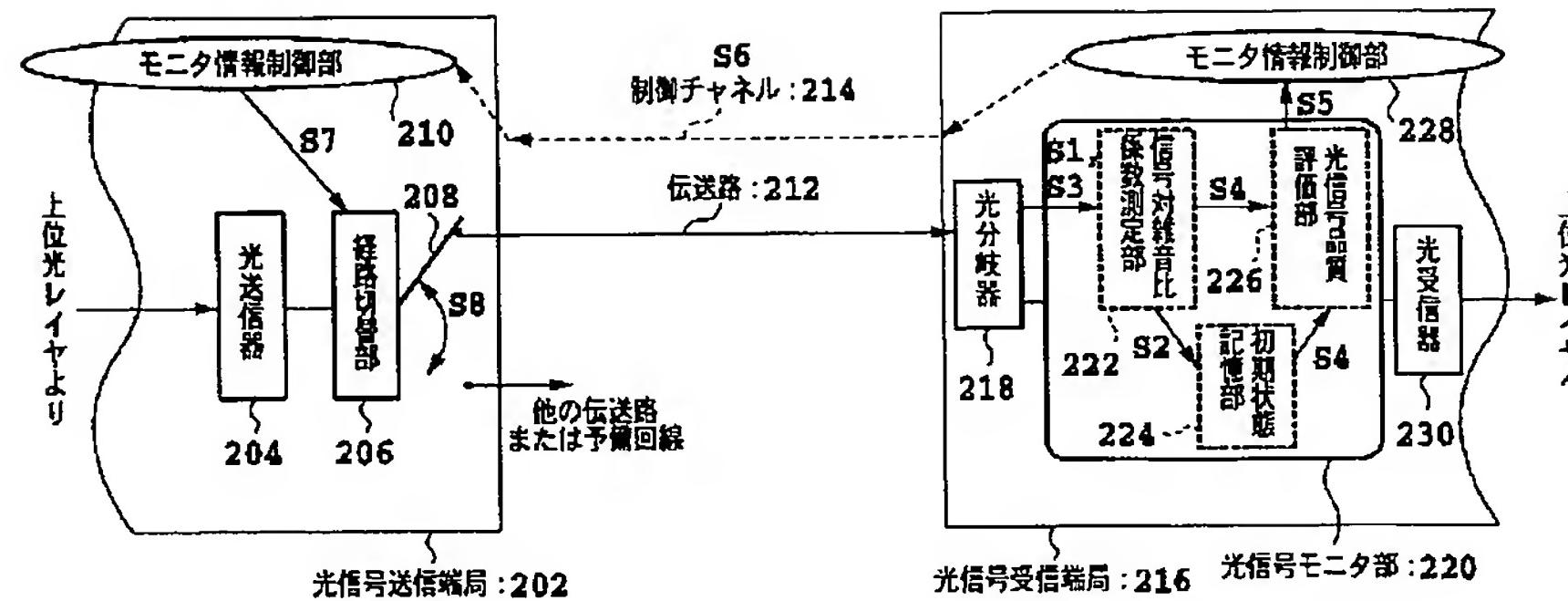
【図25】



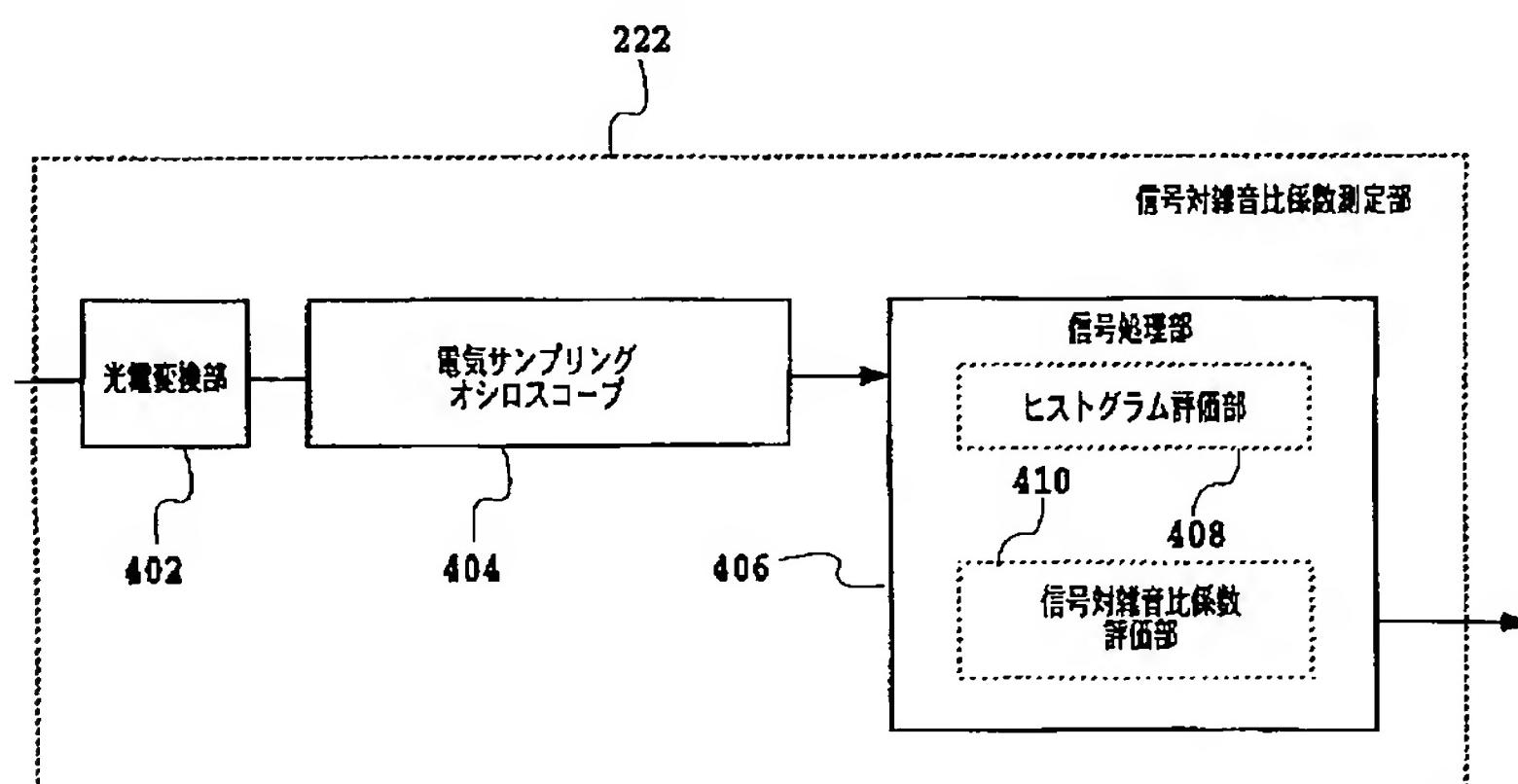
【図31】



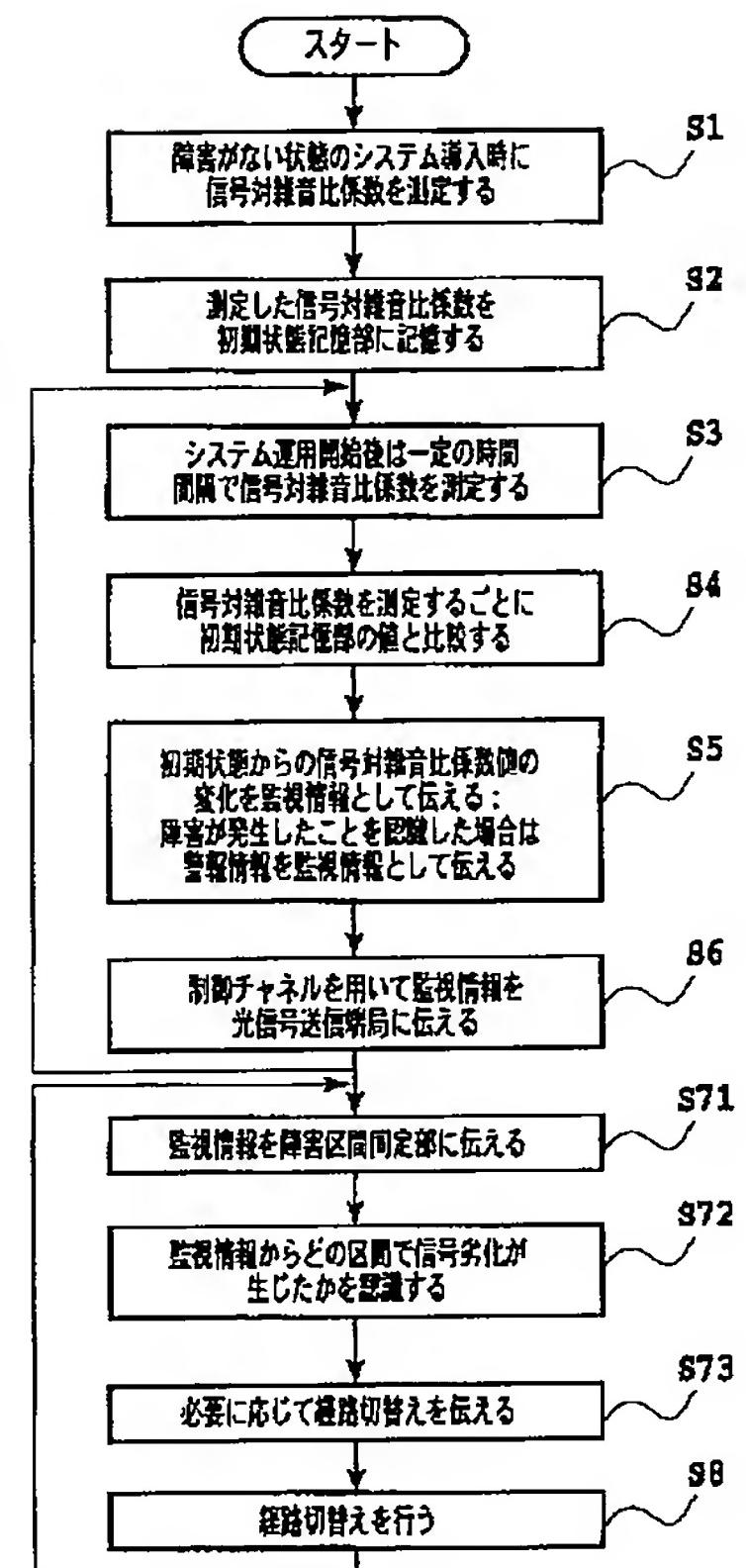
【図26】



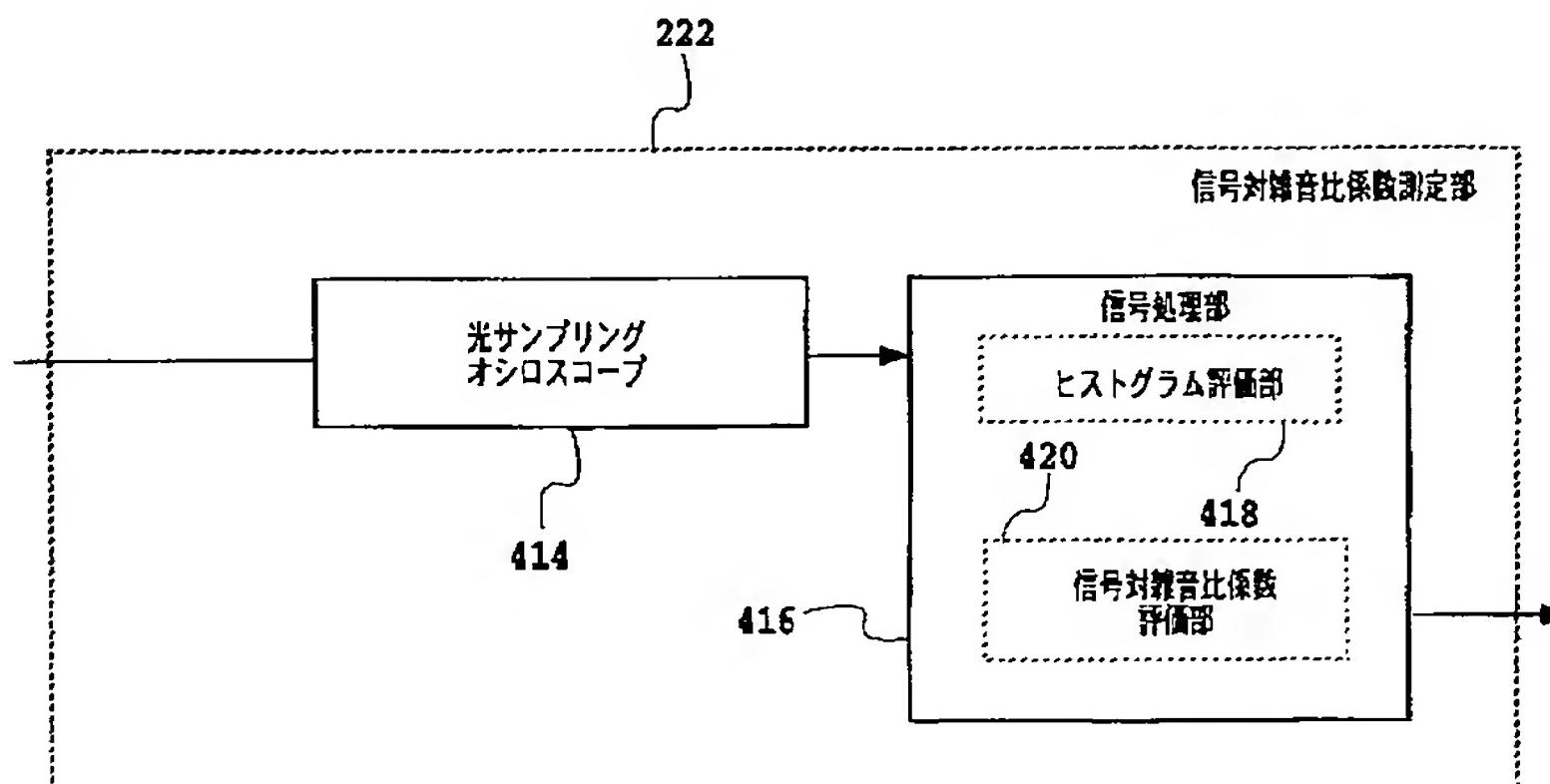
【図28】



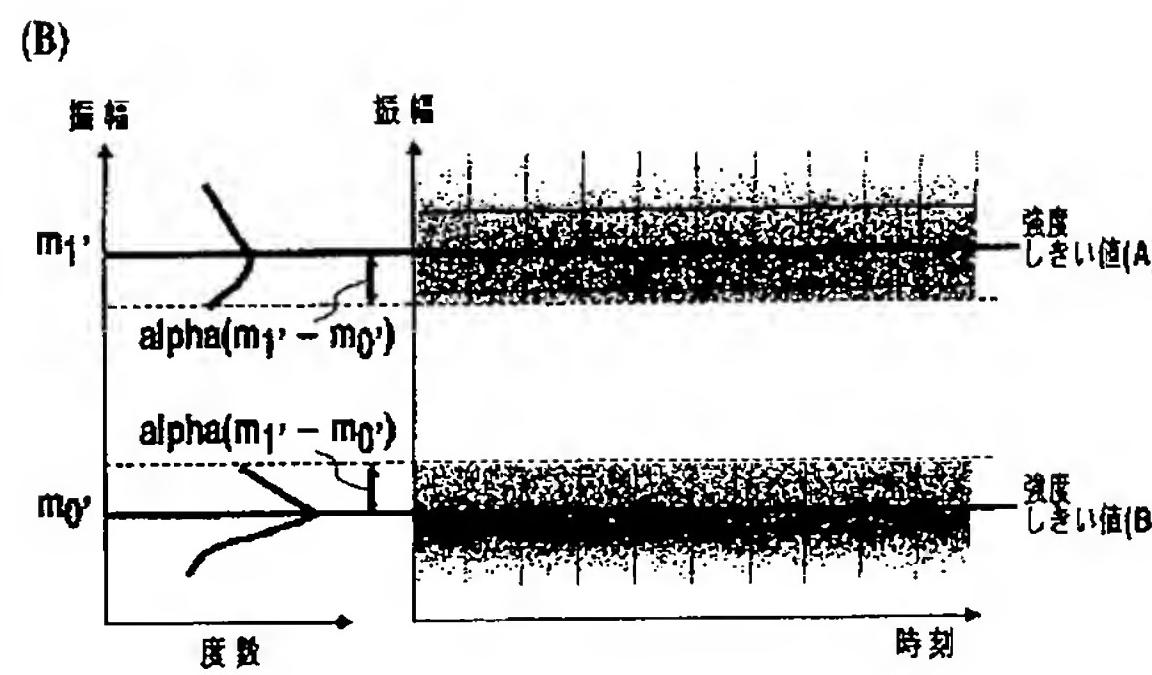
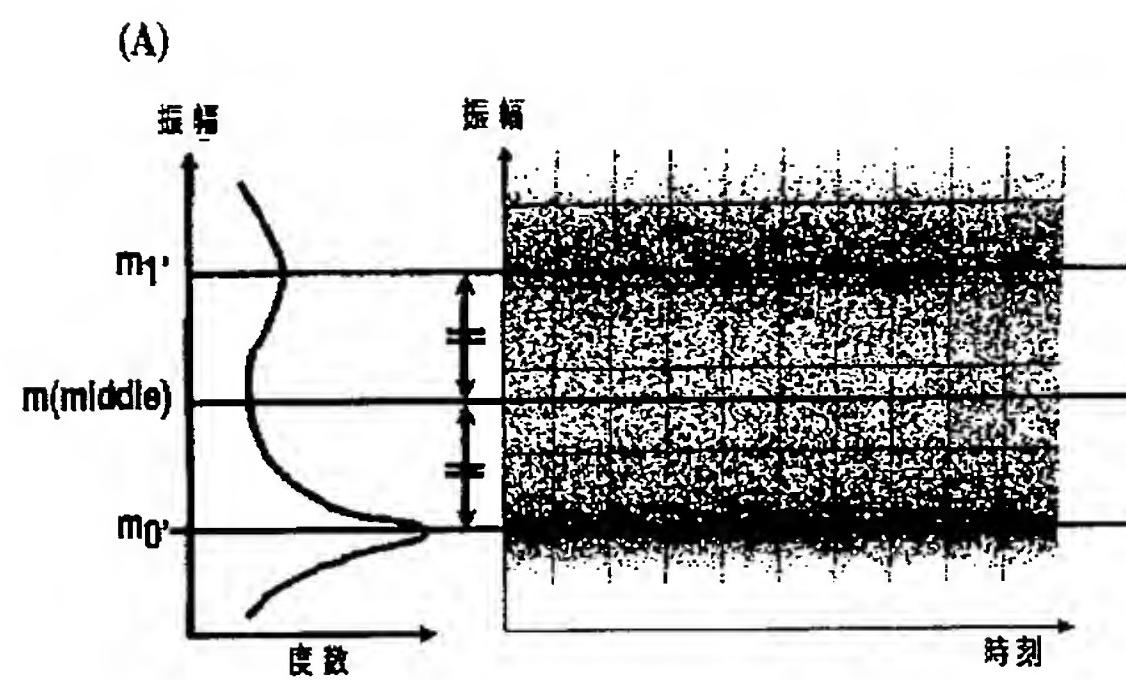
【図39】



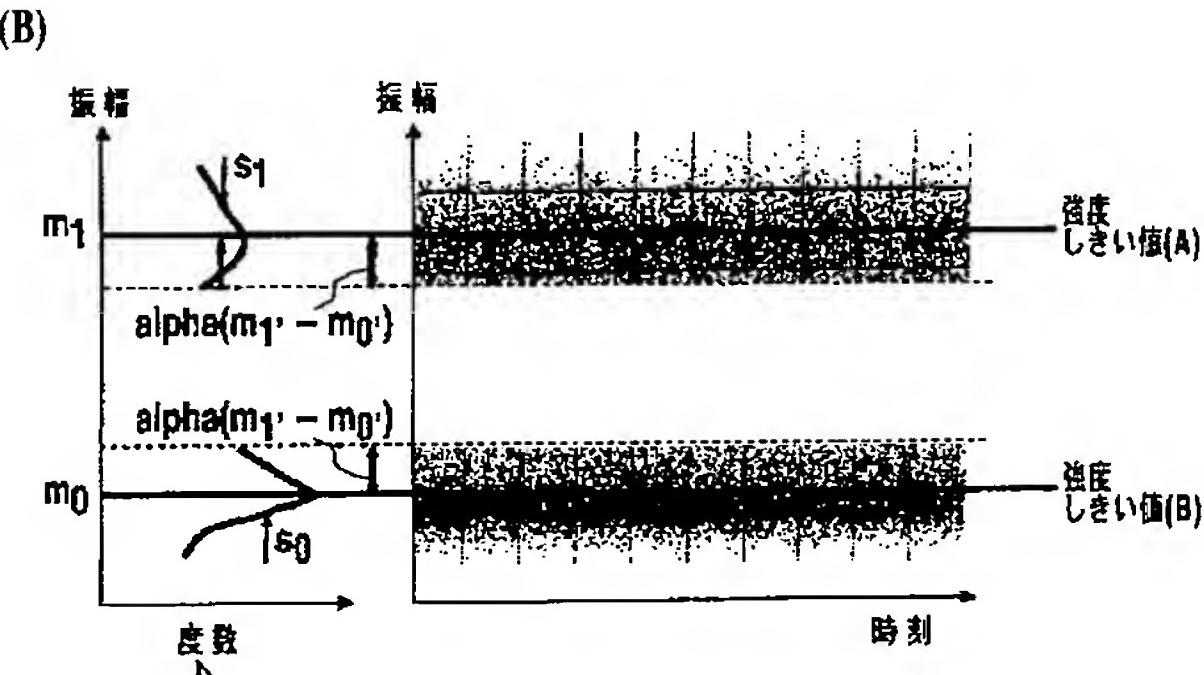
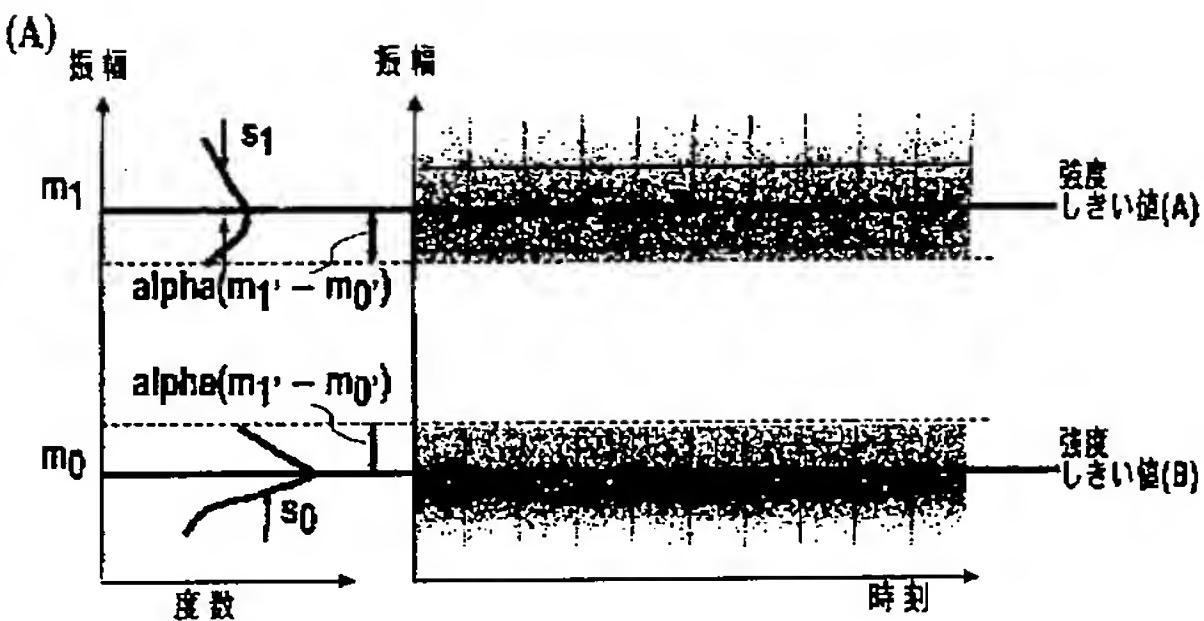
【図29】



【図32】

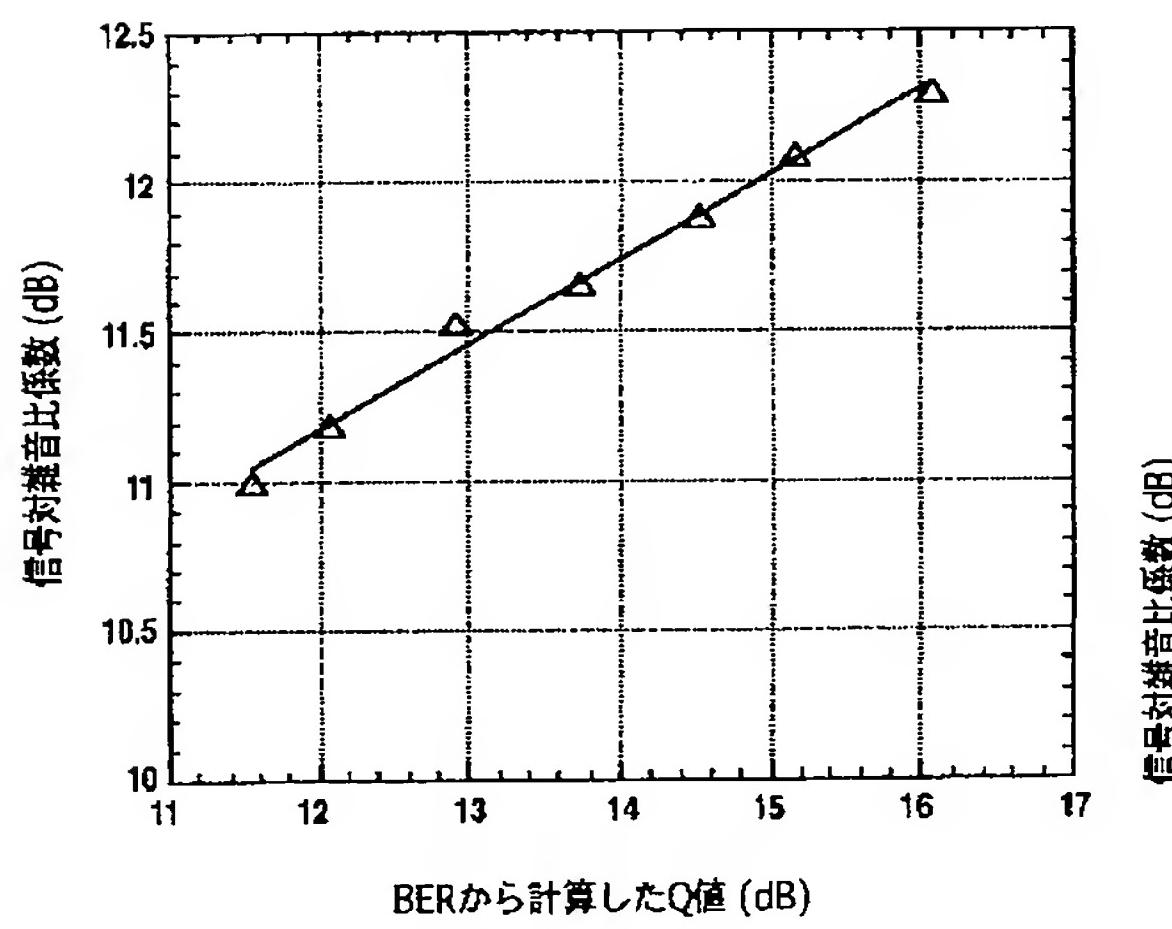


【図33】

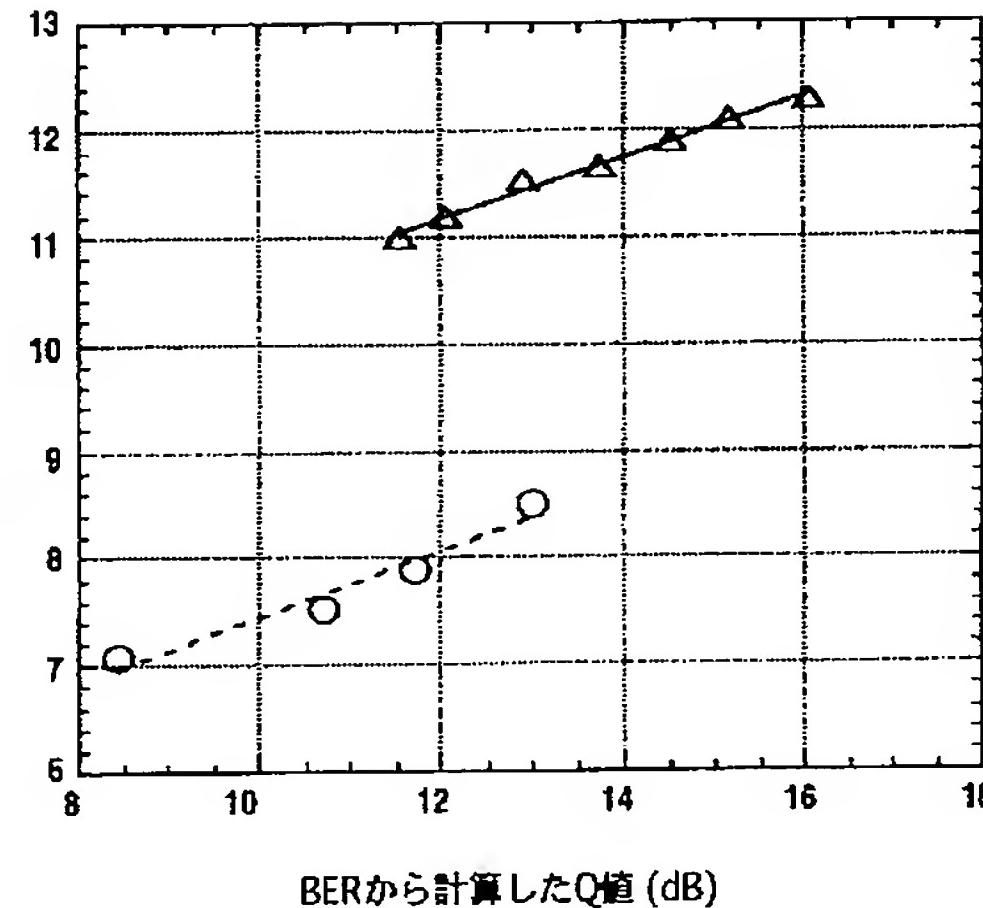


$$Q = |m_1' - m_0'| / (s_1 + s_0)$$

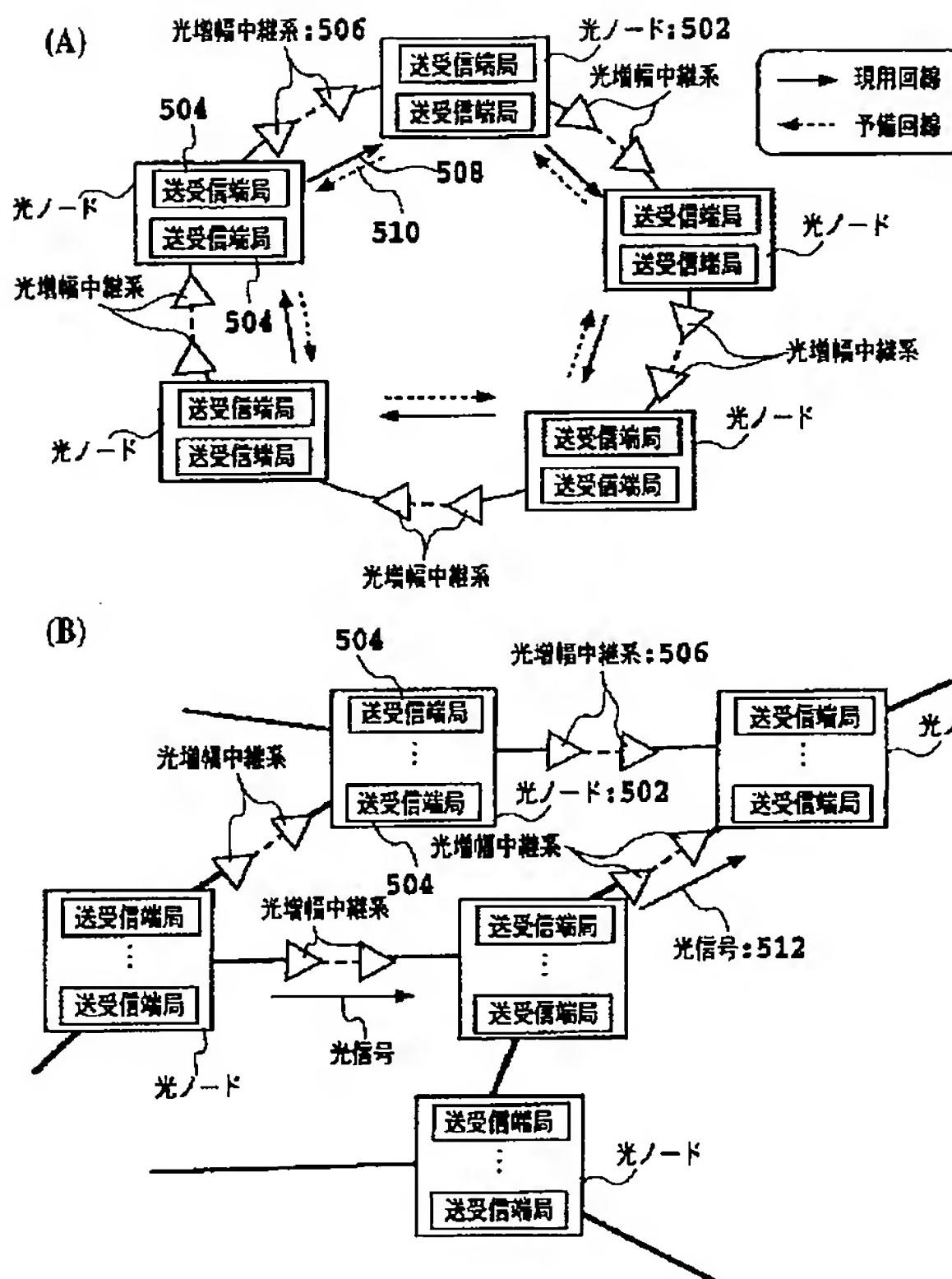
【図34】



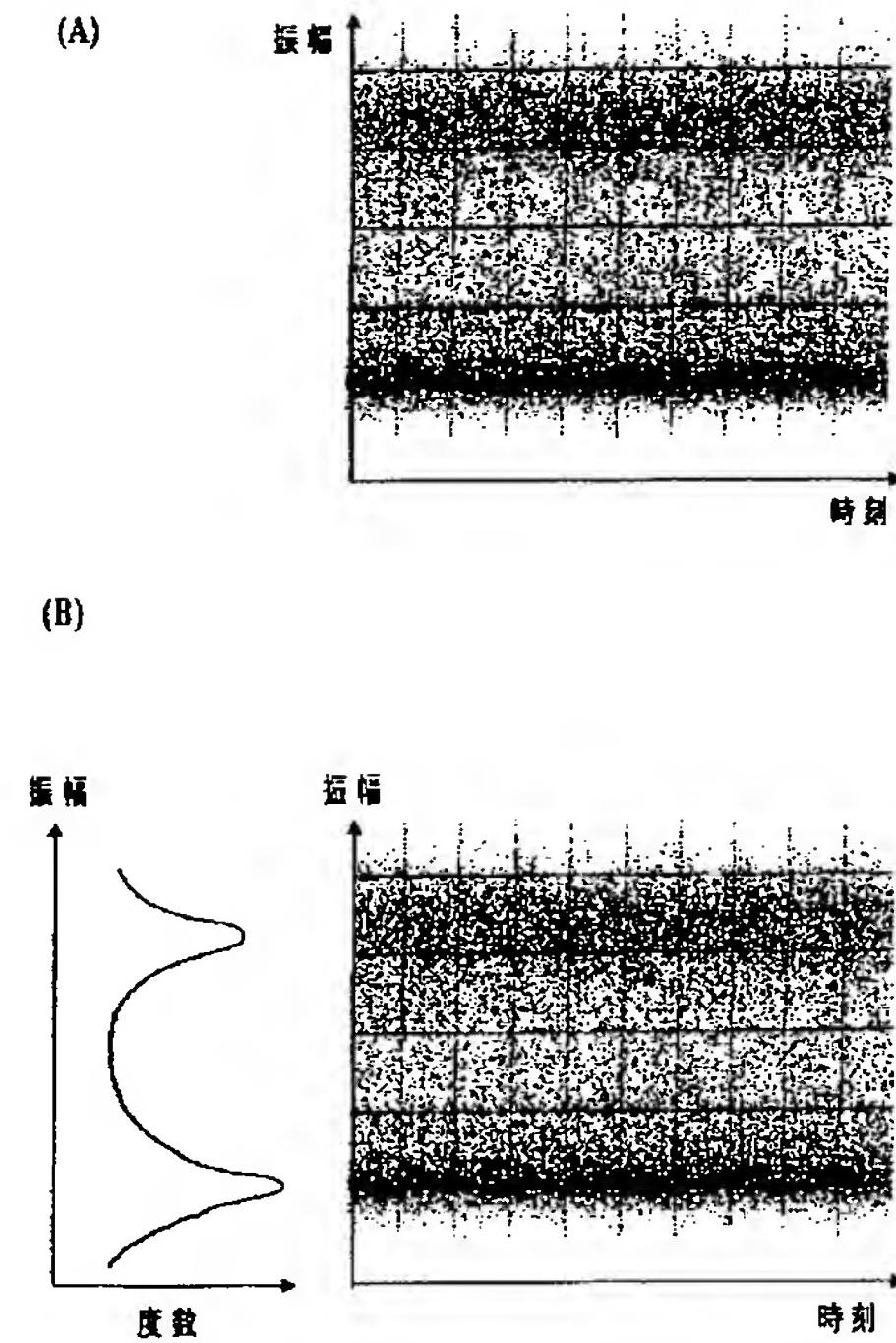
【図35】



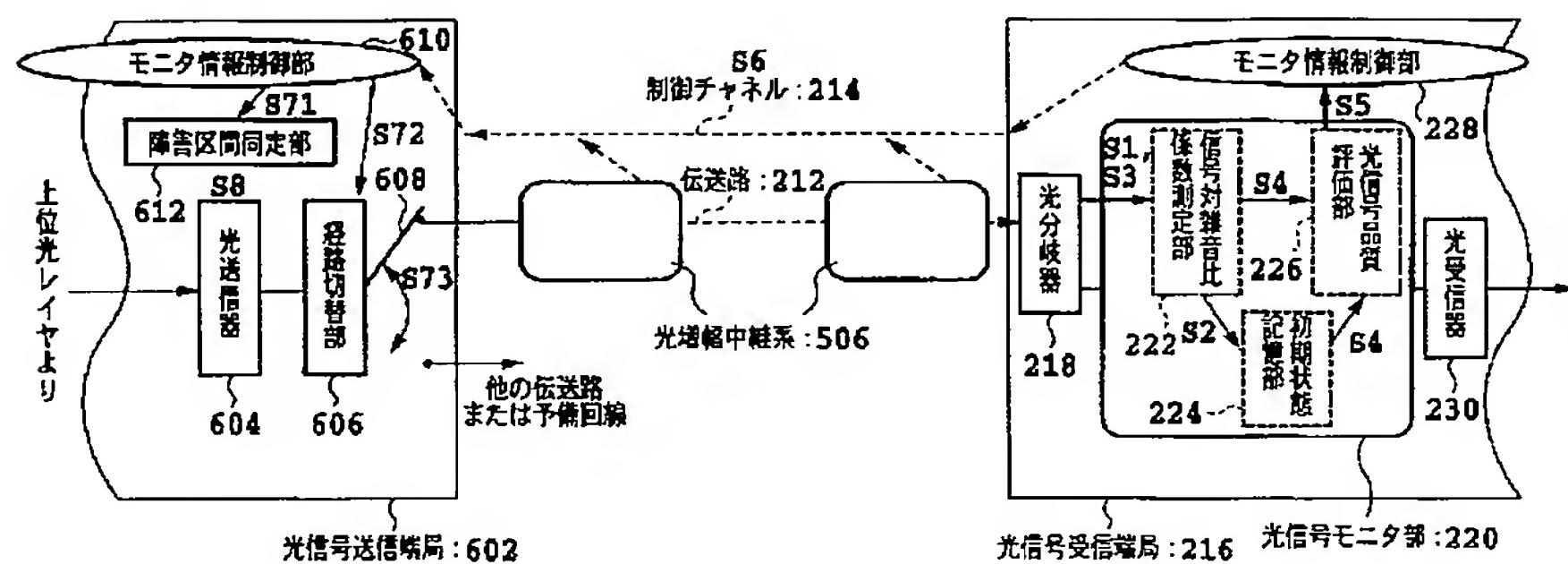
【图36】



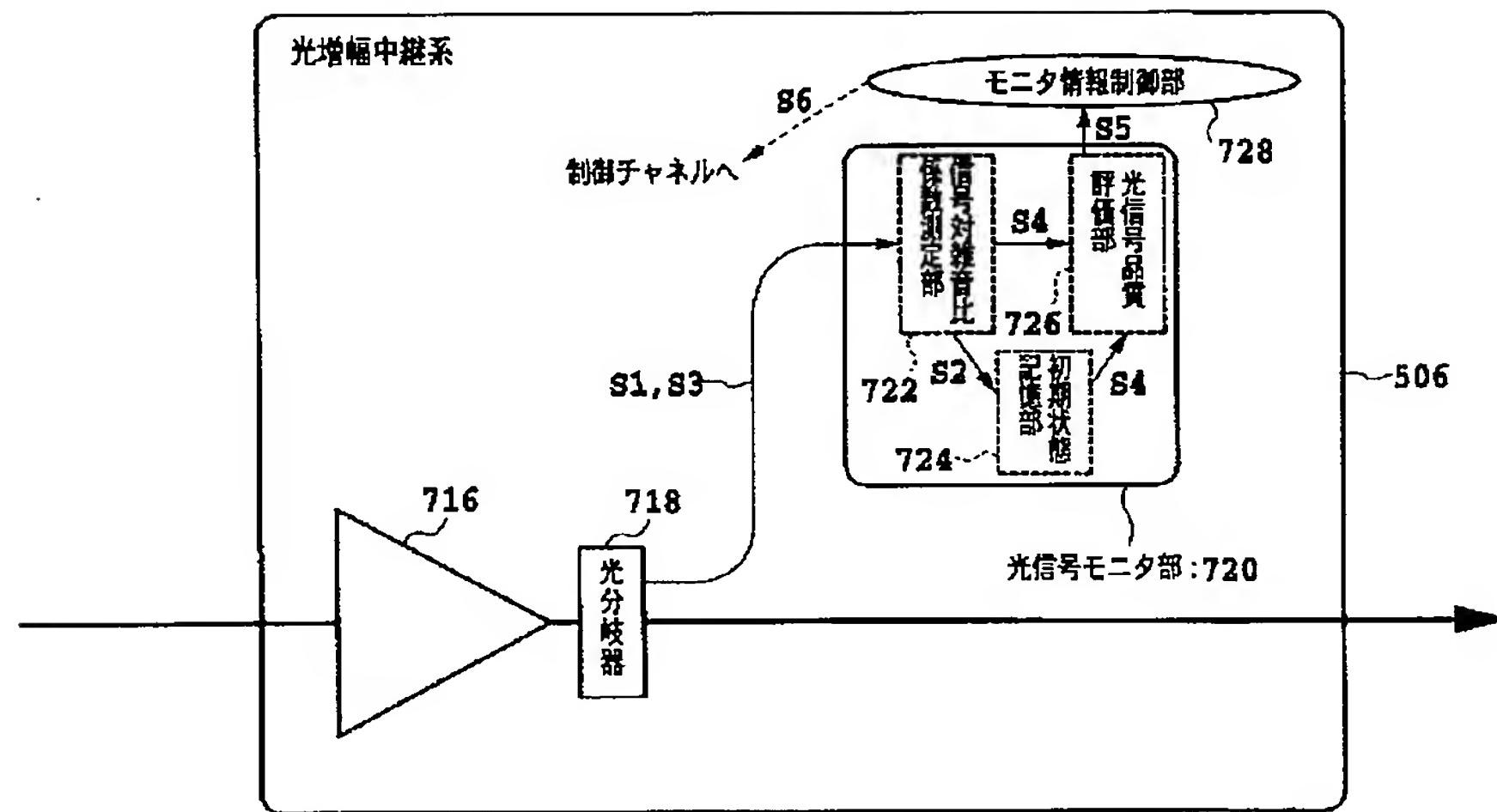
[図40]



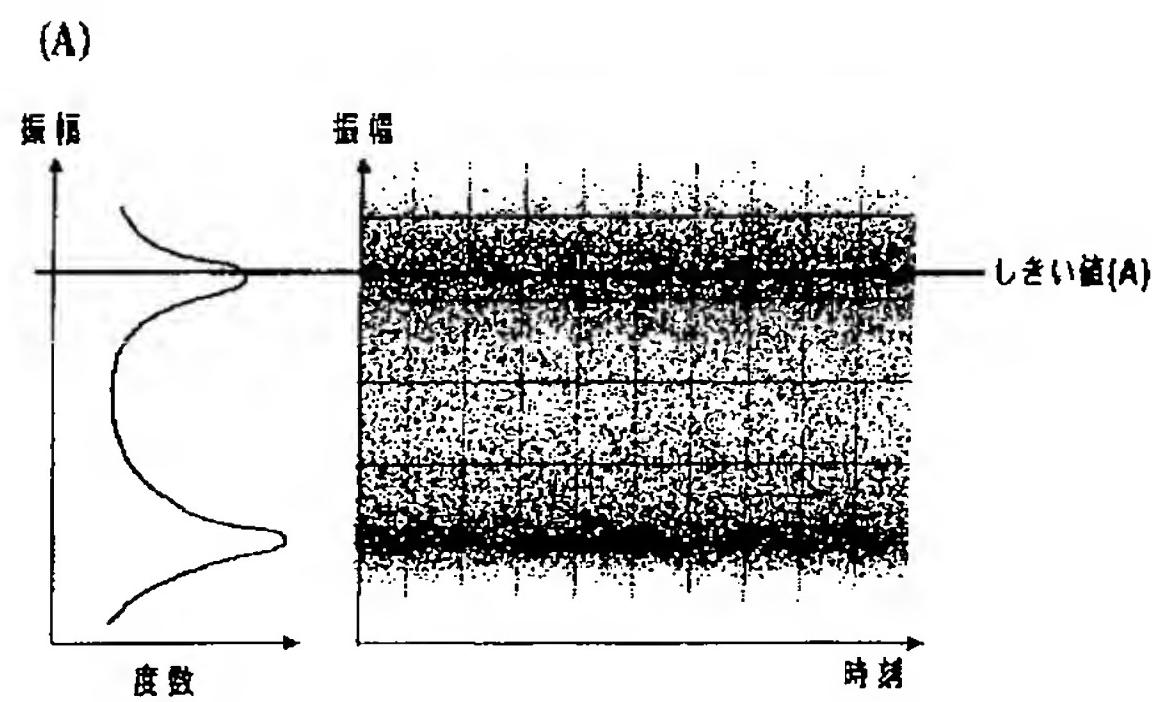
【図37】



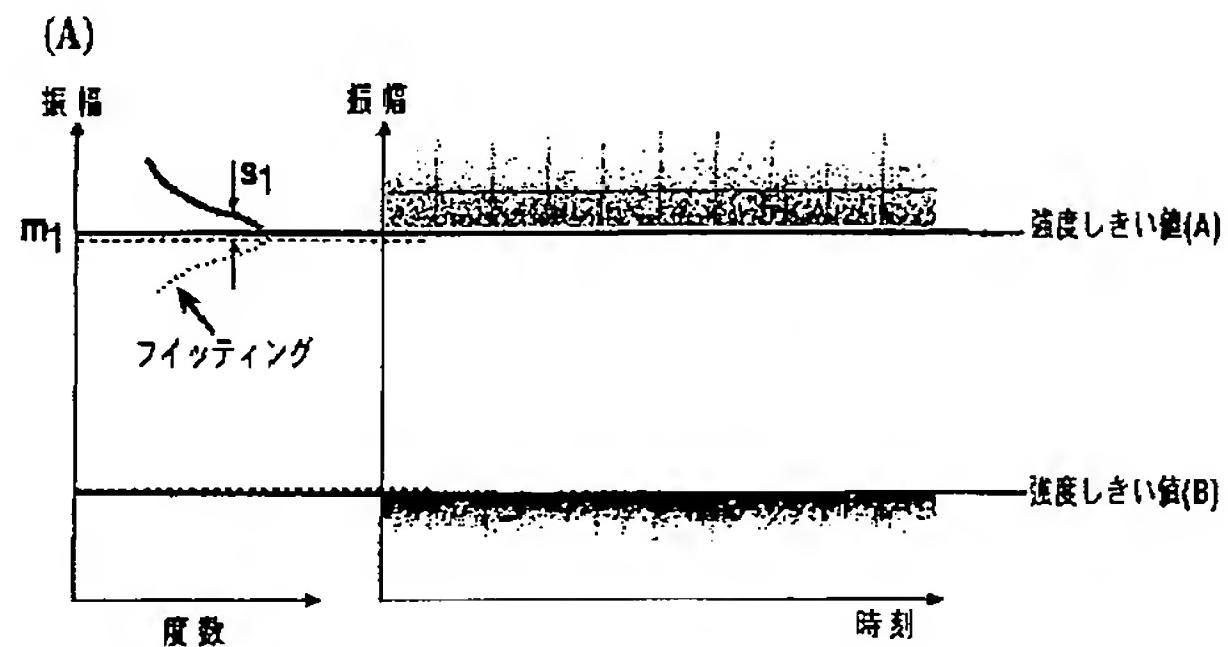
【图38】



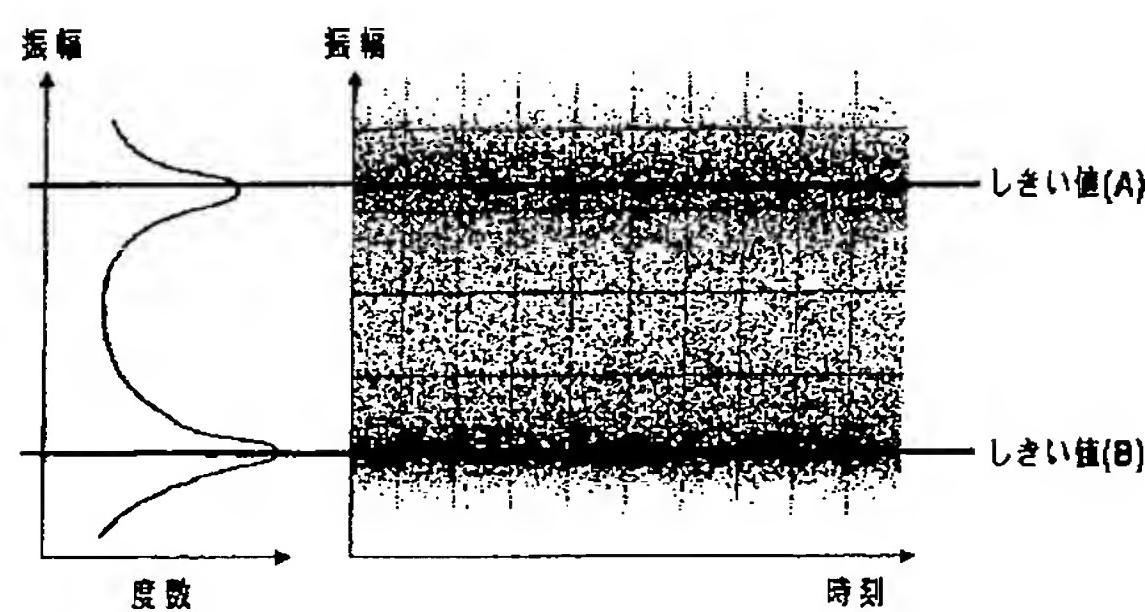
【四一】



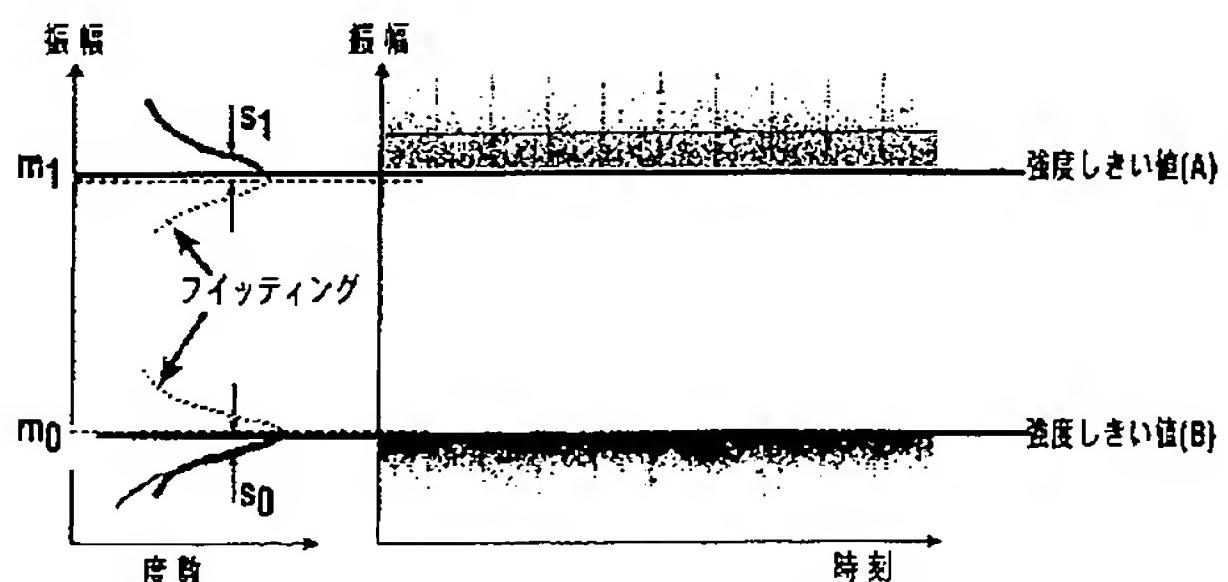
【四二】



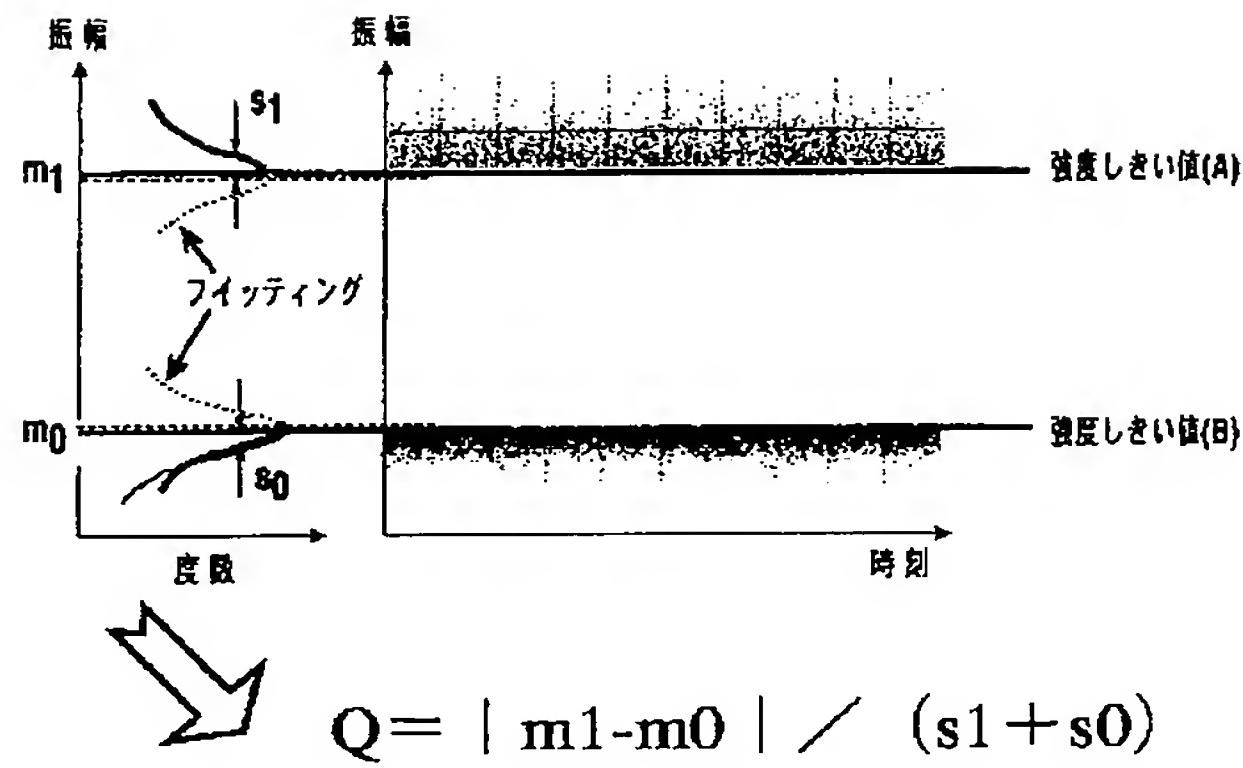
(B)



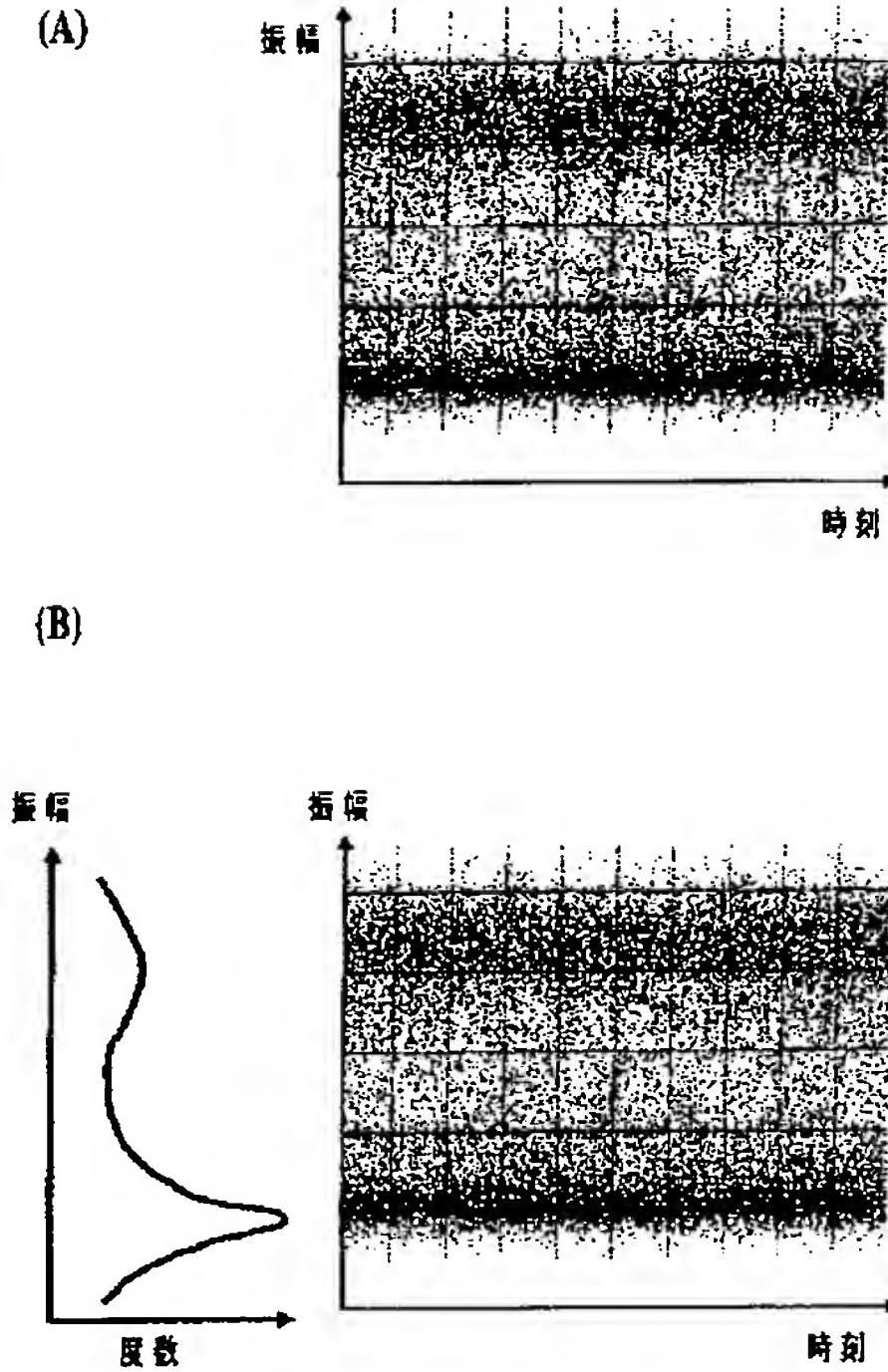
(B)



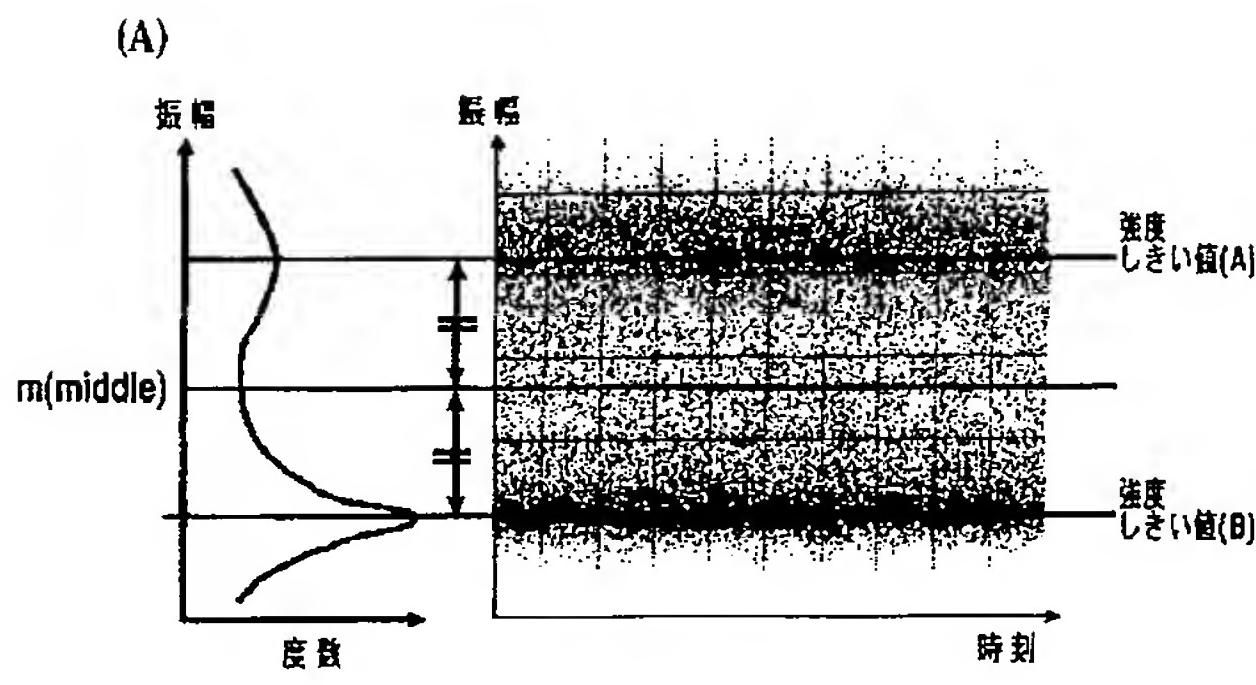
【図43】



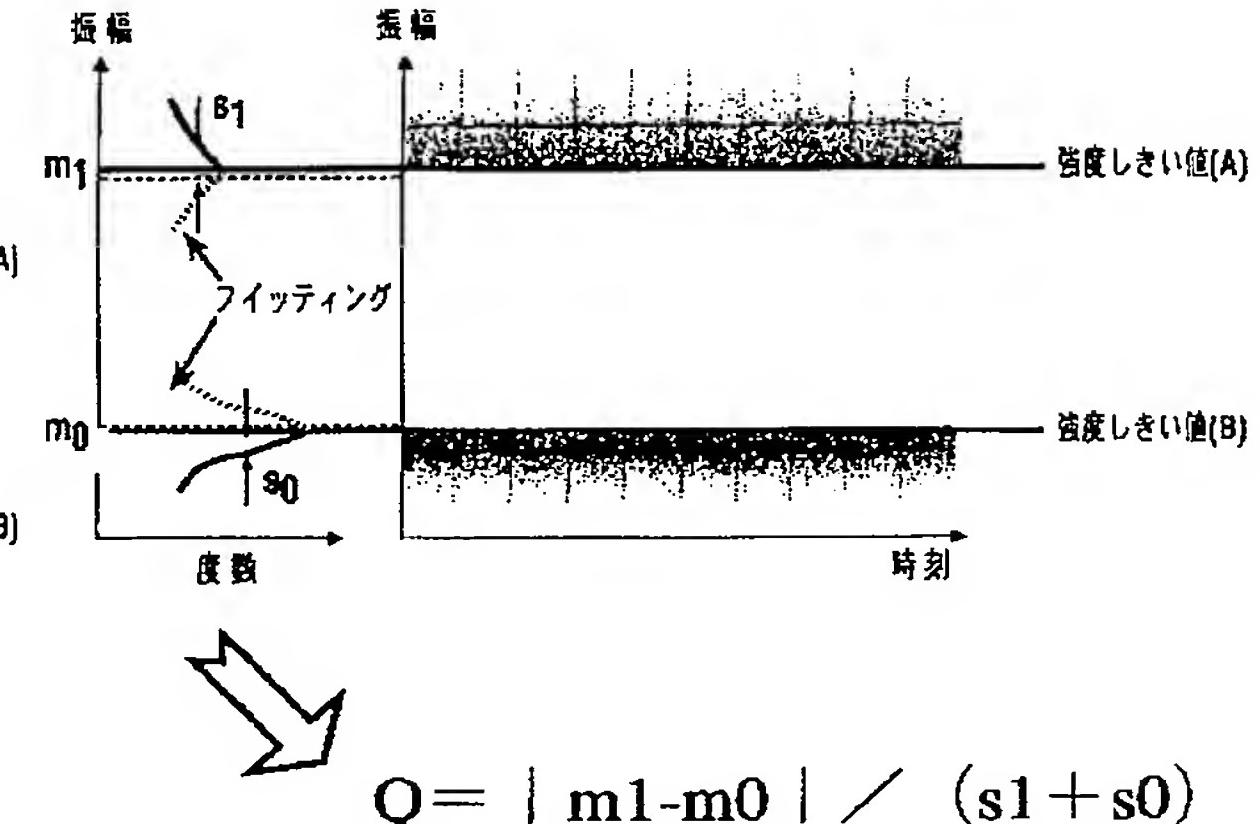
【図44】



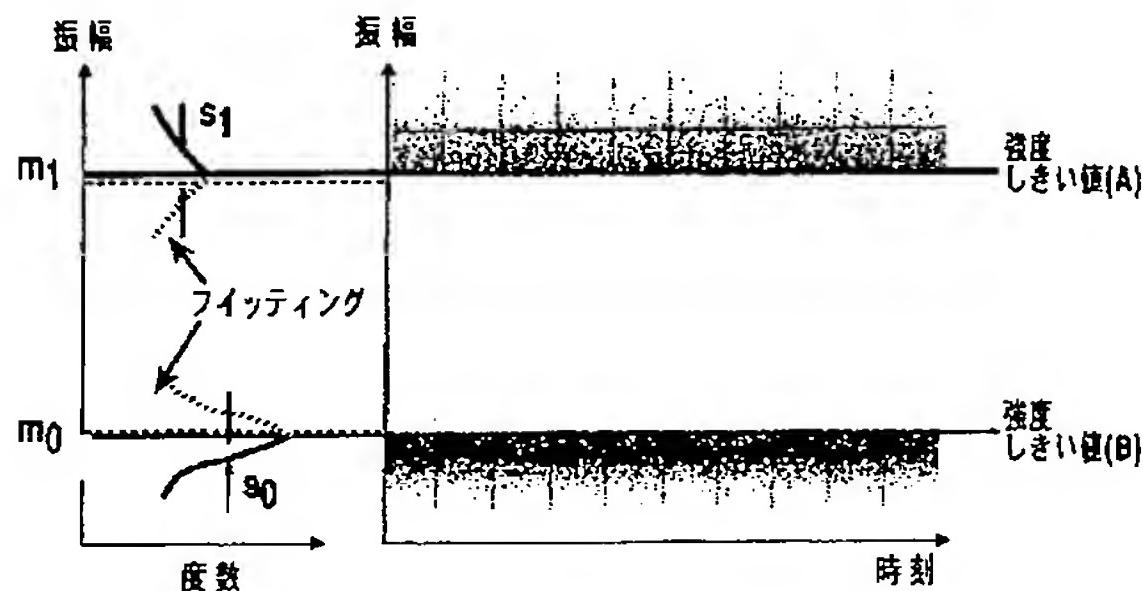
【図46】



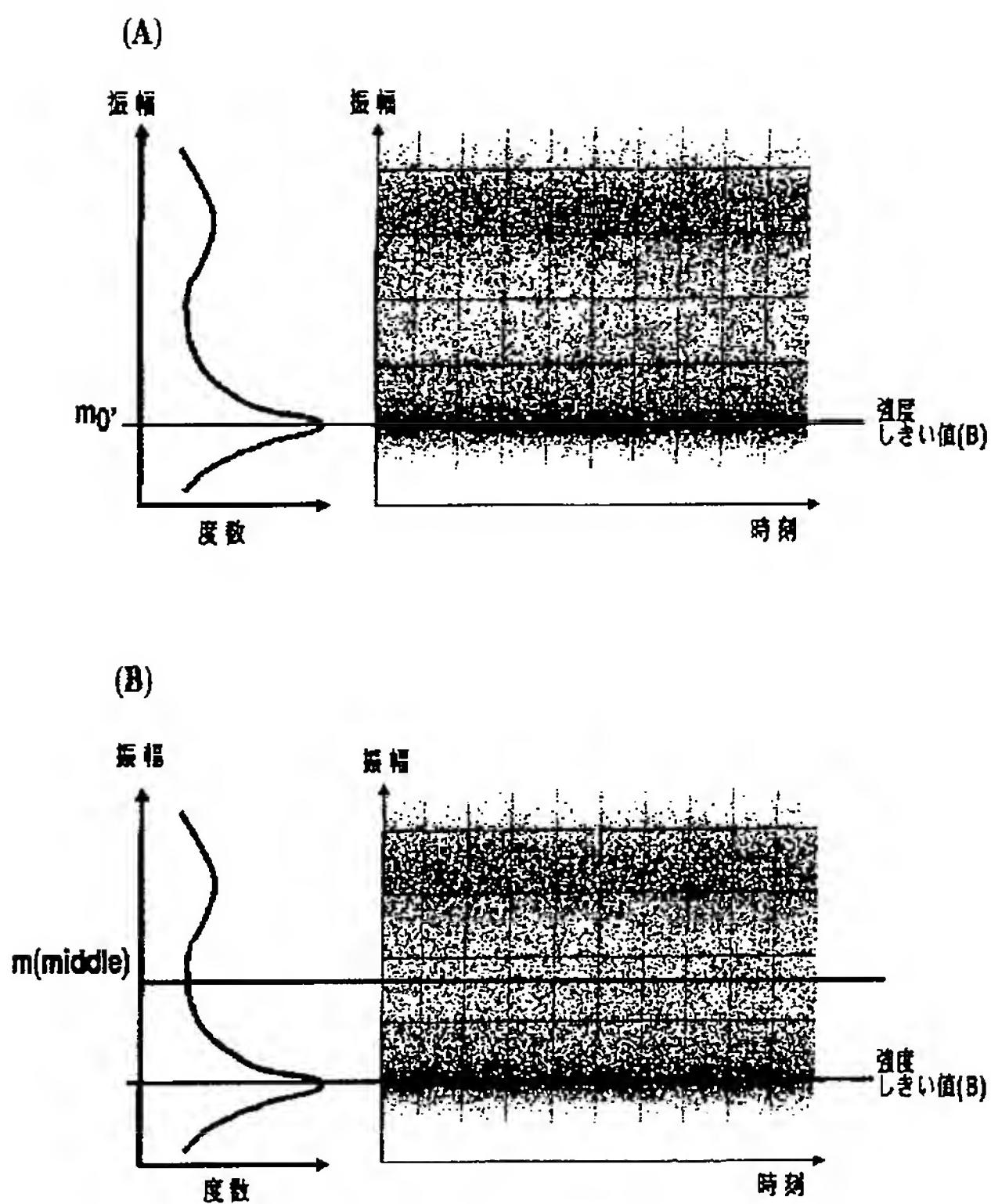
【図47】



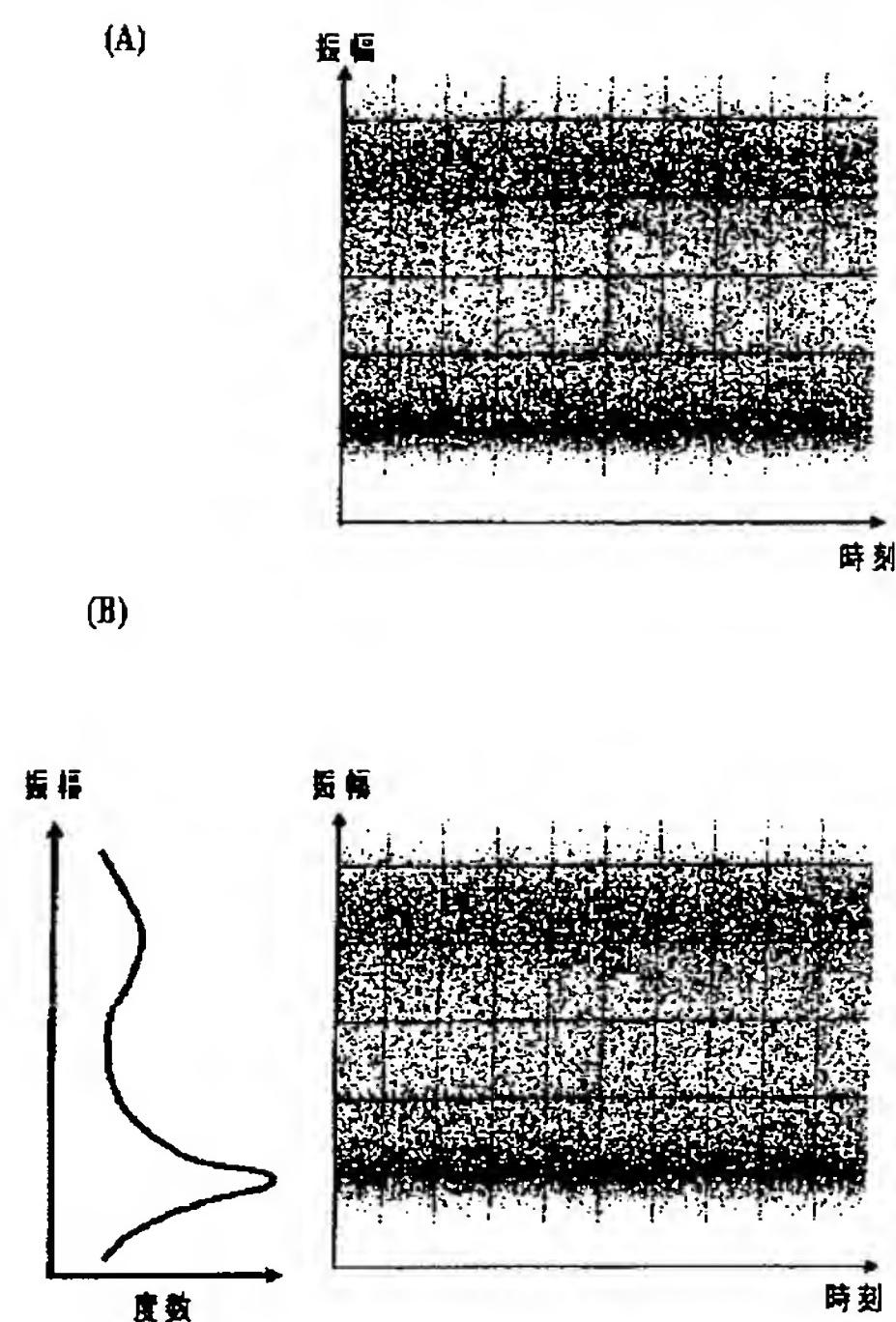
(B)



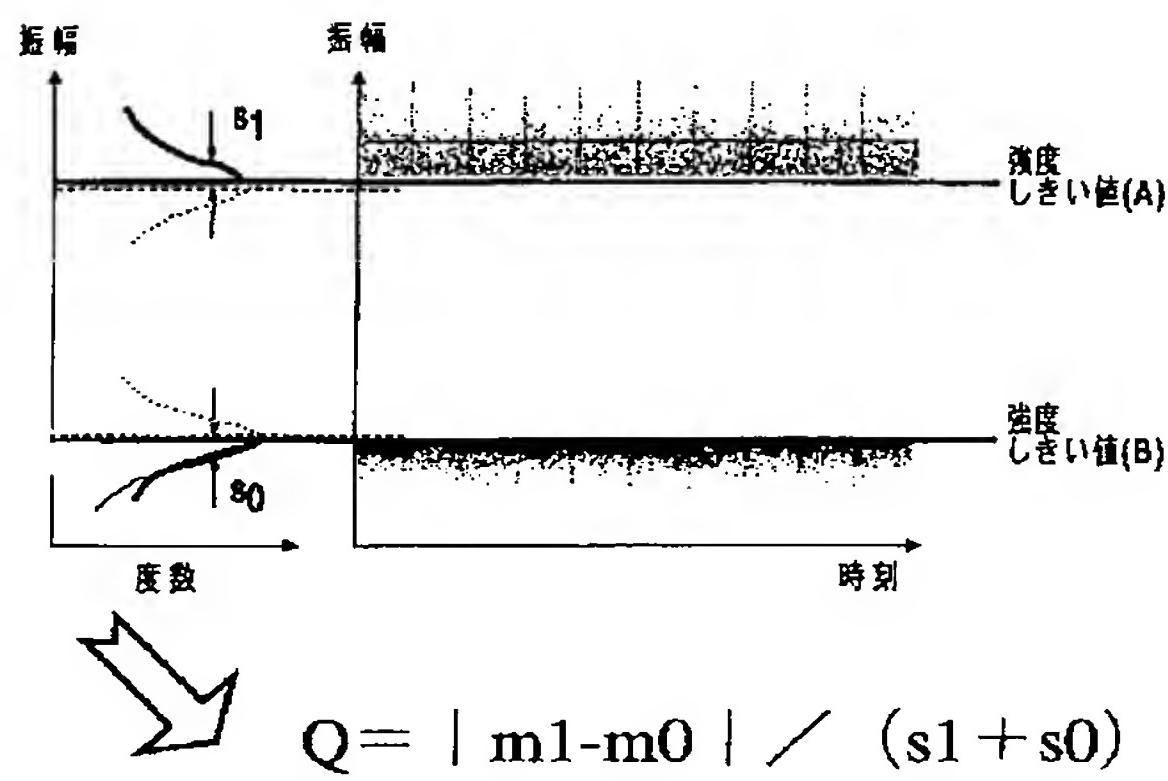
【図45】



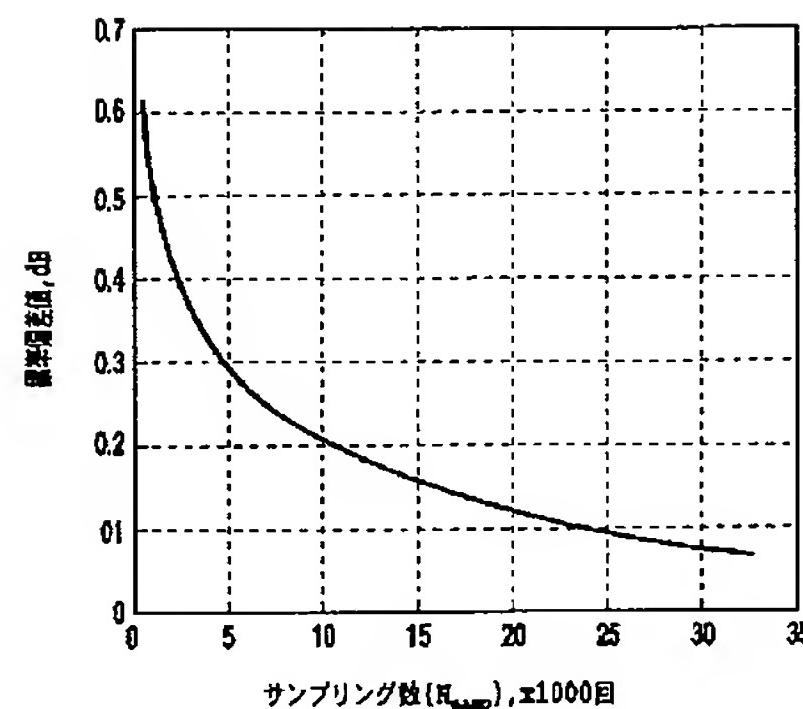
【図48】



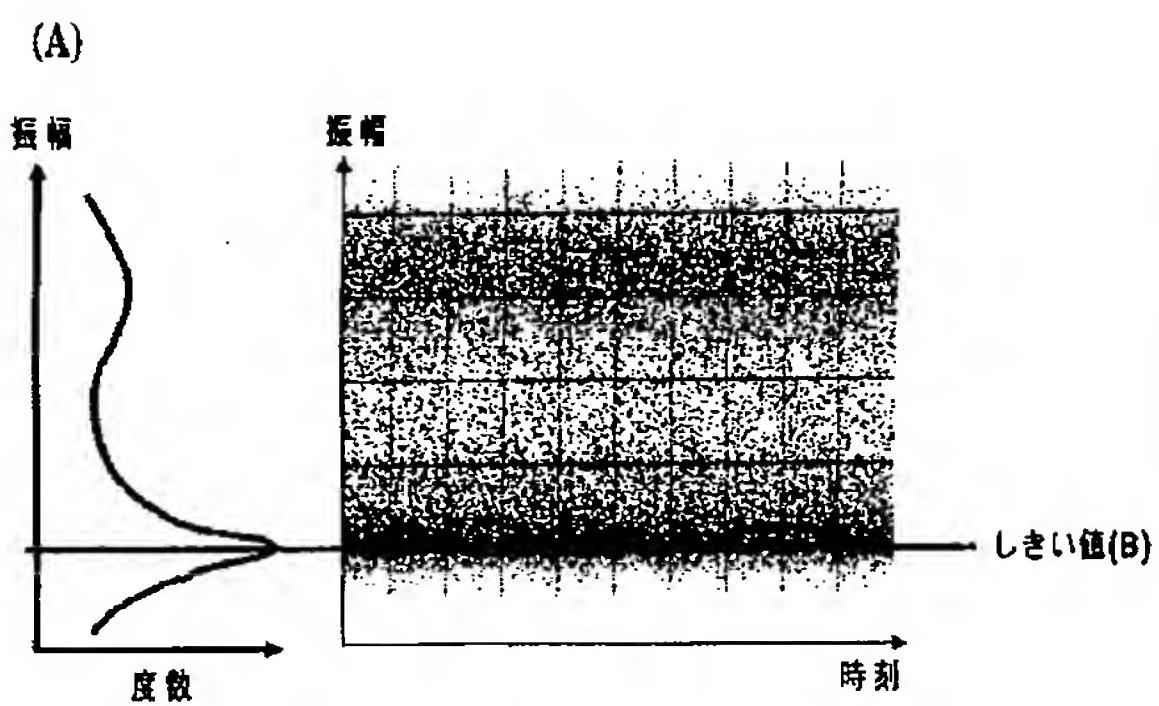
【図51】



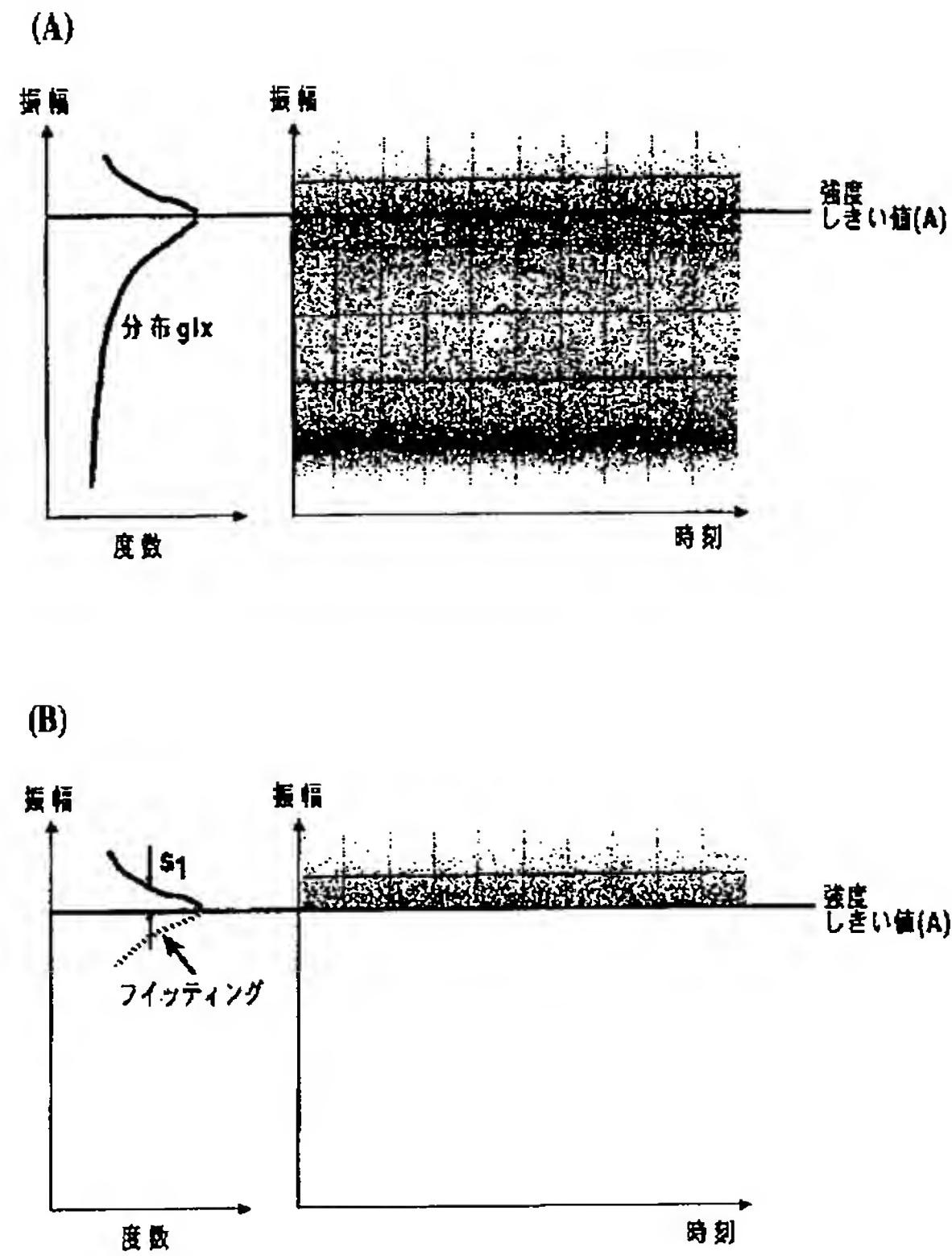
【図52】



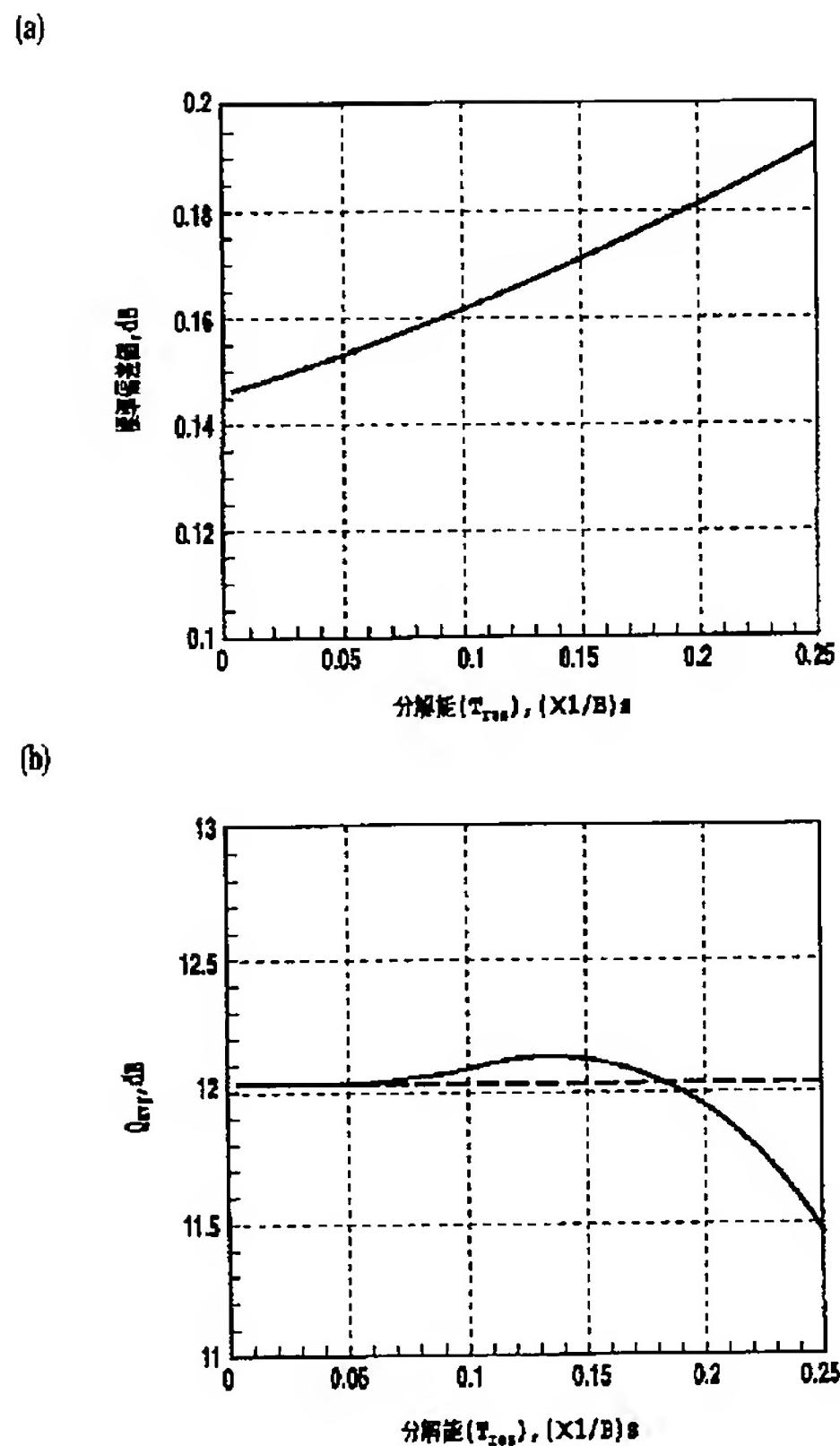
【図49】



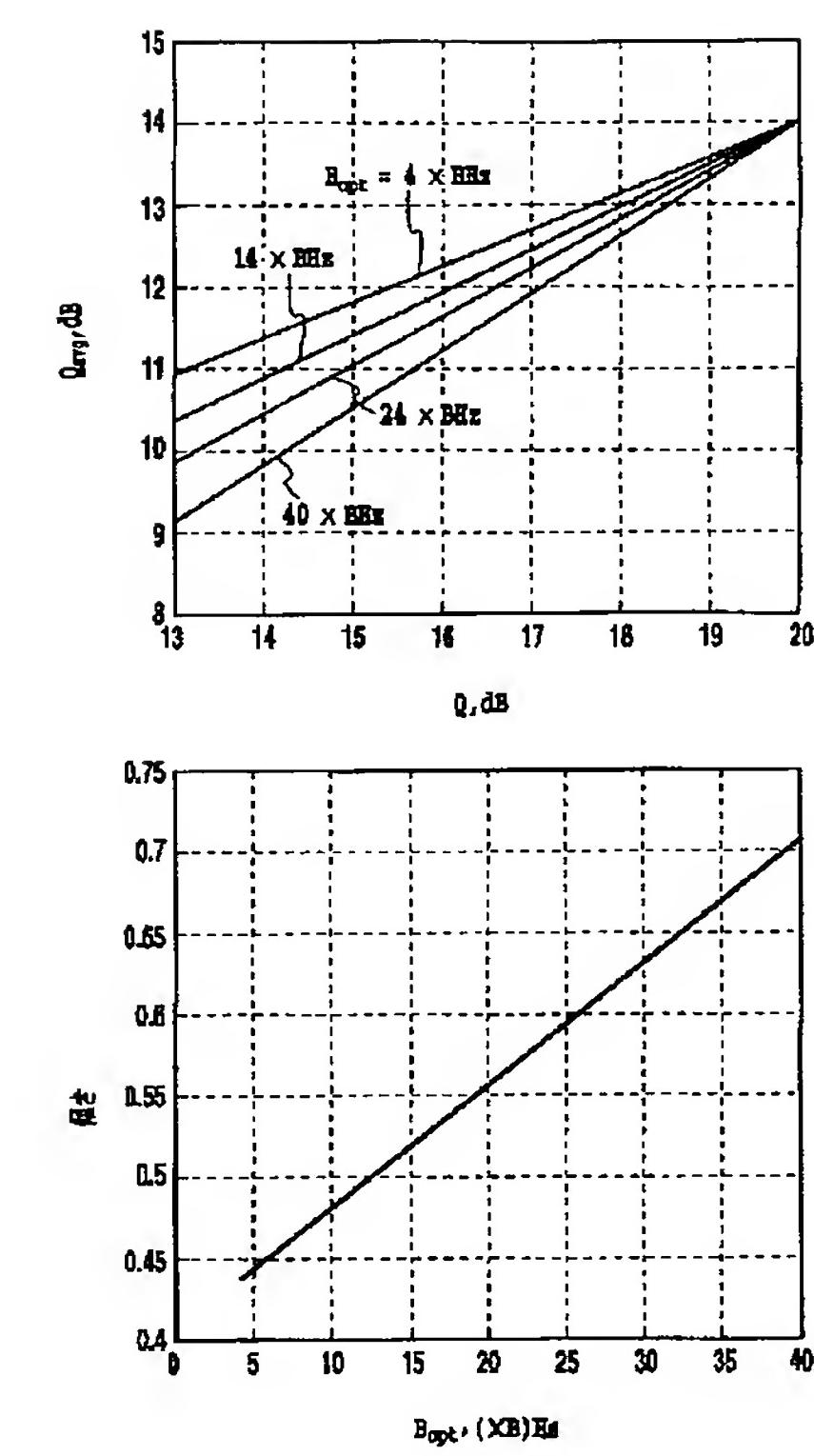
【図50】



【図53】



【図54】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5K002 AA07 BA02 DA02 DA05 EA05  
 FA01  
 5K042 CA10 CA23 DA13 DA16 DA24  
 DA27 EA15 FA25